

**REDISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UNA VÁLVULA
PARA APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS
DOMICILIARIAS**



Universidad
Tecnológica
de Pereira

JOSÉ NÉSTOR DOMÍNGUEZ GARCÍA

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

PEREIRA

2020

**REDISEÑO Y CARACTERIZACIÓN DE UNA
VÁLVULA PARA APROVECHAMIENTO DE
AGUAS LLUVIAS DOMICILIARIAS**



Universidad
Tecnológica
de Pereira

JOSÉ NÉSTOR DOMÍNGUEZ GARCÍA

TRABAJO DE GRADO INVESTIGATIVO

Director

CARLOS ALBERTO MONTILLA MONTAÑA

I.M. – Ph. D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA

PEREIRA

2020

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Pereira DD/MM/AAAA

CONTENIDO

	Pag
RESUMEN	11
0. INTRODUCCIÓN	13
0.1 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA	15
0.2 JUSTIFICACIÓN	16
0.3 OBJETIVOS	16
0.3.1 OBJETIVOS GENERALES	16
0.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
0.4 ALCANCES DEL PROYECTO	17
0.5 METODOLOGIA	17
0.5.1 Fuentes primarias de información	17
0.6 MARCO TEORIO	18
0.6.1 VÁLVULAS	18
0.6.2 TIPOS DE VÁLVULAS	19
0.6.3 ELECTRO VÁLVULAS	31
0.6.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA UNA VÁLVULA CON SOLENOIDE	33
0.6.5 CARACTERÍSTICAS DE CAUDAL INHERENTE	34
0.6.6 NÚMERO DE REYNOLDS Y TEOREMA DE TRANSPORTE DE REYNOLDS	36
0.7 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO	38
0.8 COEFICIENTE DE FRICCIÓN	38
0.9 DIAGRAMA MOODY	40

0.10	COEFICIENTE DE FLUJO	41
0.11	FLUJO OBSTRUIDO EN LÍQUIDOS “FLUJO AHOGADO”	42
0.12	NORMATIVA PARA CONSTRUCCIÓN DE VÁLVULAS.	44
0.13	SOLIDWORKS	45
0.13.1	Módulo Flow Simulation	45
1.	CARACTERIZACIÓN DE LA VALVULA INICAL	46
1.1	OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA PROTOTIPO DE VÁLVULA 1	46
1.2	ANÁLISIS DEL PROTOTIPO 1	46
1.3	DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL PROTOTIPO 1.	61
1.4	DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS PRODUCIDAS POR LA VÁLVULA	63
2.	REDISEÑO DEL PROTOTIPO 1 Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO 2.	68
3.	PRESUPUESTO PROYECTO	104
4.	RECOMENDACIONES	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
5.	CONCLUSIONES	105
6.	BIBLIOGRAFIA	107

ILUSTRACIONES

	Pag
Figura 1.Prototipo de válvula inicial	14
Figura 2. Mapa conceptual desarrollo del proyecto	14
Figura 3.Tipos de válvulas de globo.	20
Figura 4. Válvula en ángulo	21
Figura 5. Válvula de tres vías.	22
Figura 6. Válvula de jaula	23
Figura 7.Válvula en "Y"	24
Figura 8. Válvula de cuerpo partido	25
Figura 9. Válvula Saunders	26
Figura 10. Válvula de obturador excéntrico rotativo	27
Figura 11.Válvula excéntrica	28
Figura 12.Válvul de mariposa	29
Figura 13.Válvula de bola	30
Figura 14.Válvula de macho.	31
Figura 15. Válvula solenoide de 3 vías.	33
Figura 16. Característica de caudal inherente.	34
Figura 17. Resumen características	36
Figura 18 Relación RTT con sistema y volumen de control	37
Figura 19. Diagrama de Moody	40
Figura 20. Calculo de factores para diferentes fluidos.	42
Figura 21. Flujo de ahogo vs ∇p	43

Figura 22. Prototipo de válvula N°1.	46
Figura 23. Recorrido fluido via 1 válvula N°1.	47
Figura 24. Recorrido fluido via 2 válvula N°1	48
Figura 25. Análisis vía 1 válvula N°1	49
Figura 26. Campo de control vía 1	49
Figura 27. Análisis vía 2 válvula N°1	54
Figura 28. Campo de control vía 2	55
Figura 29. Características físicas vía 2 prototipo 1	58
Figura 30. Clasificación según clase del prototipo 1	59
Figura 31. Verificación de material para la válvula 1.	60
Figura 32. Rugosidad en materiales	61
Figura 33. Trayectoria 1 (agua acueducto)	64
Figura 34. Grafico para determinación del K del elemento en la vía 1.	65
Figura 35. Trayectoria 2 (agua tanque de reserva)	66
Figura 36. Grafico para determinación del K del elemento en la vía 2	67
Figura 37. Diámetro de perforación para roscas	71
Figura 38. Perforación para conexión de tubería	72
Figura 39. Descripción trayectoria del fluido por la vía 1.	73
Figura 40. Descripción posición del obturador.	74
Figura 41. Posiciones del obturador	74
Figura 42. Elemento controlador de flujo	75
Figura 43. Cheque trayectoria 2	76
Figura 44. Diseño final del prototipo de válvula 2	77
Figura 45. Simulación trayectoria 1	78

Figura 46.Simulación trayectoria 2	78
Figura 47. Selección de material.	82
Figura 48.Determinación diámetro de eje para fabricación	83
Figura 49. Fabricación cuerpo de válvula 2	84
Figura 50. Rosca para acoplamiento de válvula	85
Figura 51. Separador porta empaques	86
Figura 52. Impresora 3D Object 24 utilizada en el proyecto	87
Figura 53.Ficha técnica HR de polyjet.	88
Figura 54. Elemento de control de flujo trayectoria 2	88
Figura 55. Prototipo de válvula 2	89
Figura 56. Prueba en banco trayectoria 1.	89
Figura 57. Campo de control vía 1	90
Figura 58. Características flujo obstruido vía 1.	91
Figura 59. Característica de caudal inherente.	92
Figura 60. Vía 2 del prototipo 2	95
Figura 61. Prueba en banco de la vía 2	96
Figura 62.Campo de control vía 2	97
Figura 63. Flujo obstruido para vía 2 prototipo 2.	98
Figura 64. Característica de caudal inherente vía 2	99
Figura 65. Determinación de la clase de la válvula.	100
Figura 66. Coeficiente de rugosidad válvula 2.	101
Figura 67. Perdidas secundarias vía 1.	102
Figura 68. Perdías secundarias vía 2.	103

RESUMEN

En el presente proyecto se caracterizó y rediseñó un prototipo de electroválvula, La cual posee tres vías, entre ellas dos entradas y una salida, con un coeficiente de flujo en su vía principal de 1,45 y 3,85 [GPM/PSI]. Esta caracterización se realiza con el fin de aumentar los respectivos coeficientes de flujo de la válvula y así garantizar el aprovechamiento y la distribución de manera eficientemente, del agua que se recolecta de las frecuentes lluvias en Pereira- Risaralda.

Este trabajo es continuación de un proyecto desarrollado en la facultad de ciencias ambientales, el cual propone métodos de recolección y aprovechamiento de aguas lluvias basado en la pluviosidad de la región.

“En la actualidad la escasez de agua conlleva a investigar e implementar nuevas propuestas de abastecimiento de agua que aporten a la sostenibilidad del recurso; dentro de este contexto los sistemas de captación de agua lluvia son una alternativa eficiente para disminuir el consumo de agua de red para usos como baterías sanitarias y riego, por medio de sistemas simples que disminuyan los impactos ambientales, la presión de los acueductos y alcantarillados y los pagos por consumo de agua potable”.¹

Para el desarrollo de este proyecto se utilizaron herramientas CAD con el fin de rediseñar la válvula existente, y así disminuir las perdidas energéticas en el fluido, aprovechar al máximo sus cualidades, y contribuir con el medio ambiente de manera efectiva.

Como resultados del análisis de los prototipos, se obtuvo una disminución en la perdida energética del fluido al pasar por las vías del nuevo prototipo, el cual

¹ HENAO, Jhenifer L. CASTAÑO, Yesica. Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial. Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira 2016

aumenta su coeficiente de flujo en un 4,2 veces en la vía principal, además, la selección del latón como material apropiado para su entorno operativo, y así obtener un prototipo de válvula más eficiente.

Palabras claves:

- Apertura
- Avance
- Pluviosidad

0. INTRODUCCIÓN

El aprovechamiento de las aguas lluvias a nivel domiciliario , es una práctica adecuada para la contribución al cuidado del medio ambiente y la economía del hogar, teniendo en cuenta la elevada demanda que tienen los acuíferos alrededor del mundo, por tal razón se plantea una propuesta ingenieril del rediseño conceptual y construcción de un prototipo de válvula la cual tenga la capacidad de contribuir con la reutilización de las aguas lluvias recolectadas, para aprovecharlas en lugares como los baños, lavaderos y demás áreas donde el agua no sea de consumo para las personas.

Según lo anterior, se tiene un prototipo inicial de válvula constituida por un eje de acero, y dos platinas de 6 mm previamente mecanizadas y soldadas, además, un solenoide que opera a 110 V que hará la función de sellado por medio de un diafragma, impidiendo el flujo del agua, cuando un tanque de reserva se encuentre lleno de aguas lluvias.

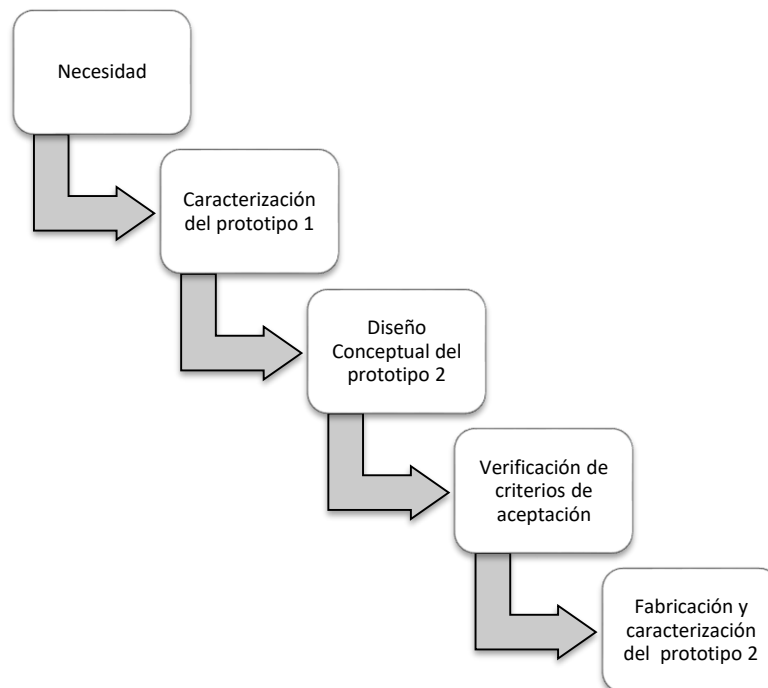
No obstante que el prototipo es funcional, presenta errores constructivos que afectaría a los criterios de aceptación, tales como fugas, pérdidas energéticas por cambios de sección y dirección, y errores en el material escogido para su fabricación.

Por lo anterior, se desarrollaron una serie de ensayos en los laboratorios de la Universidad Tecnológica de Pereira, para determinar las características de este primer prototipo; seguidamente, tomando como base el mapa conceptual de la figura 2, se rediseñó y fabricó un nuevo prototipo, el cual cumplió con los criterios de aceptación planteados.

Figura 1.Prototipo de válvula inicial



Figura 2. Mapa conceptual desarrollo del proyecto



0.1 DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Desde el surgimiento de la civilización, el hombre se ha desarrollado alrededor de las fuentes hídricas, estas eran usadas para transporte, alimentación, entre otros. Al tener esta disponibilidad del recurso no era indispensable la recolección de las aguas lluvias para la mayoría de actividades exceptuando la agricultura. Sin embargo, a lo largo del tiempo algunas civilizaciones tuvieron que desplazarse a lugares donde las fuentes hídricas eran escasas, por tal razón la recolección de las aguas lluvias surgió como una necesidad. Actualmente algunas poblaciones sufren de escases de agua, ya sea por diferentes razones como contaminación de los acuíferos por las diferentes empresas, el no tratamiento de aguas residuales o ubicaciones geográficas de difícil acceso.

A raíz de esta problemática se intenta mitigar y hacer más eficiente la racionalización del agua como un recurso renovable, se propone una solución ingenieril, aplicable para los casos donde las aguas lluvias se puedan reutilizar, reduciendo costos y contaminación.

Los sistemas de recolección de aguas lluvias son una alternativa práctica y eficiente, los cuales constan de 3 partes captación, conducción y almacenamiento, variando esta su complejidad de acuerdo a su aplicación. En este caso, se tendrá como principal objetivo el análisis de la conducción y distribución del agua lluvias, es decir, se analizará el sistema que distribuirá el agua lluvia, cuando esta esté almacenada será la principal fuente hídrica para el recinto y cuando esta no exista, se tendrá agua del acueducto.

Estos sistemas de recolección de agua requieren un proceso de análisis por lo tanto tienen sus ventajas y desventajas.

- ✖ Algunos requieren energía para la alimentación (como en el presente proyecto).
- ✓ El agua lluvia es un recurso natural, y no tiene costo alguno.
- ✓ El agua lluvia es apropiada para cualquier aplicación que no requiera del consumo para los humanos
- ✓ La recolección de estas reduciría los costos en el hogar o donde será dispuesto este sistema de recolección.

0.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente la presión que existe sobre las cuencas hidrográficas es muy alta, debido a la fuerte demanda del recurso y al grado de contaminación producido por los humanos. Por tal razón, muchas poblaciones no cuentan con un grado de abastecimiento adecuado de agua potable, por consiguiente, es necesario generar alternativas que permitan el aprovechamiento efectivo del recurso.

0.3 OBJETIVOS

0.3.1 OBJETIVO GENERAL

Rediseñar, caracterizar y fabricar un prototipo de válvula de diafragma de 3 vías, para el aprovechamiento de aguas lluvias domiciliarias.

0.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar y mejorar el diseño de una válvula de diafragma de 3 vías, apoyándose en software de CAD y pruebas de laboratorio.
- Construir el nuevo prototipo de válvula y realizar las respectivas pruebas comparando el desempeño entre ambas.

- Plantear alternativas de fabricación del nuevo prototipo y materiales adecuados para este, teniendo en cuenta costos y el beneficio para la salud y el medio ambiente.

0.4 ALCANCES DEL PROYECTO

El alcance de este proyecto, tiene como característica el enfoque en las cualidades energéticas del nuevo prototipo, y no en especificaciones y diseños electrónicos para este, por tal razón este proyecto contemplara lo siguiente:

- Análisis y caracterización del prototipo inicial.
- Diseño conceptual y caracterización del segundo prototipo.
- Construcción del segundo prototipo.
- Resumen de costos.

0.5 METODOLOGIA

0.5.1 Fuentes primarias de información

Para el diseño y construcción de las válvulas en Colombia, se deben tener en cuenta consideraciones como la presión de operación, los materiales a utilizar, el pH del fluido, la temperatura de operación.

Este diseño se desarrolla en criterios contemplados en la norma NTC 2193, la cual indica características como:

- Agua dulce con un valor de pH superior a 6

- Temperaturas inferiores a los 125 °F
- Presiones máximas de trabajo de fluido en régimen permanente de 150 psig.
- Diferencias de presión máximas en régimen permanente de 150 psi.
- Velocidades máximas de 16 pies/s.

En el proyecto se utilizó una metodología la cual recorría cada uno de los siguientes pasos.

1. Ensayos de laboratorio y caracterización del prototipo 1.
2. Diseño conceptual y verificación de criterios de aceptación del prototipo 2.
3. Construcción del prototipo 2.
4. Ensayos de laboratorio del prototipo 2.
5. Resumen de costos del proyecto.

0.6 MARCO TEÓRICO

0.6.1 VÁLVULAS

Una válvula es un elemento mecánico cuya función es detener o regular el flujo de un fluido, mediante un elemento móvil que obstruye total o parcialmente uno o más conductos. Las válvulas son elementos fundamentales en la industria ya que su diseño y materiales permiten aislar, detener, modular o regular diferentes fluidos de manera fácil, confiable y segura, además, tienen la capacidad de operar en ambientes con condiciones específicas, es decir, desde el más tóxico hasta el ambiente más corrosivo cumpliendo con su función de manera efectiva.

Las válvulas se pueden caracterizar según la función que desempeñen en su operación, es decir, las válvulas pueden desempeñar funciones como:

- Cierre o bloqueo.
- Impedir el flujo inverso (válvula retención).
- Función de desahogo de la presión de la línea (válvula de alivio).
- Función de estrangulación y/o regulación (válvula de control).

0.6.2 TIPOS DE VÁLVULAS

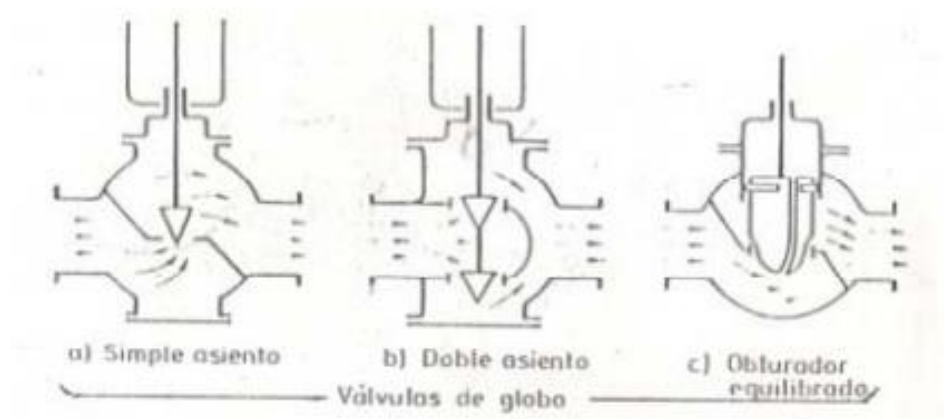
Las válvulas tienen diferentes cometidos, y según su funcionalidad se pueden clasificar como:

0.6.2.1 Válvula globo (a, b y c)

“se emplean cuando la presión diferencial del proceso es baja y con fugas mínimas en posición de cierre”².

²GOLATO, Marcos. En: UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUCUMÁN. Cátedra de sistemas de control [Sitio web]. Argentina; [Consultado: 2020]. Disponible en <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol/>

Figura 3.Tipos de válvulas de globo.



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.2 Válvula en ángulo (d)

Se emplean para disminuir la erosión cuando esta es considerable por las características del fluido. Este tipo de válvulas son adecuadas para aplicaciones donde se tengan altas presiones diferenciales.³

³ Ibíd., p. 8

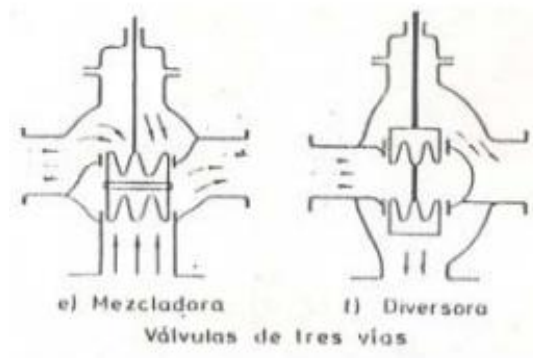
Figura 4. Válvula en ángulo



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.3 Válvula de tres vías (e y f) el tipo de válvula (E) se usan para mezclar fluidos o para dividir flujos según esquema (F).⁴

Figura 5. Válvula de tres vías.



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

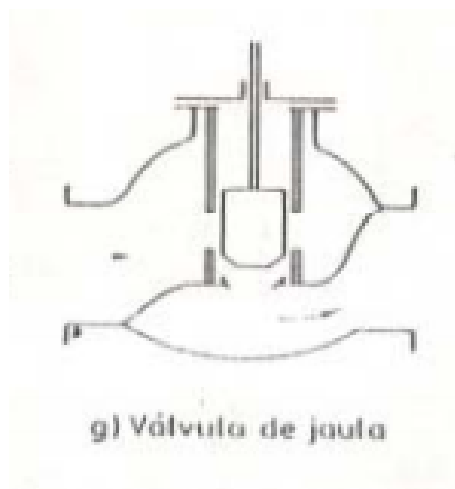
0.6.2.4 Válvula de jaula

Este tipo de válvula se usa en procesos con alta presión diferencial, cuando se necesita resistencia a las vibraciones y al desgaste.⁵

⁴ Ibíd., p. 8

⁵ Ibíd., p. 8

Figura 6. Válvula de jaula



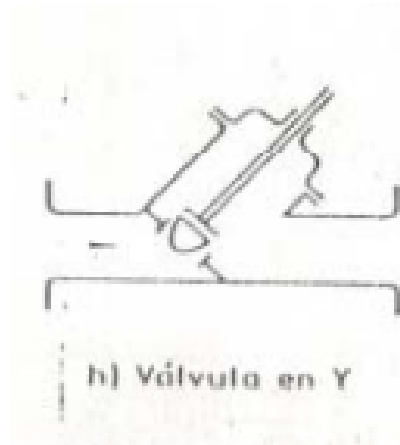
Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.5 Válvula en Y

Es usada como válvula de cierre por su baja pérdida de carga y como válvula de control por su gran capacidad de caudal.⁶

⁶ Ibíd., p. 8

Figura 7.Válvula en “Y”



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.6 Válvula de cuerpo partido

Se emplean en operaciones con flujos viscosos, facilitando un flujo suave del fluido sin espacios muertos en el cuerpo. Su geometría facilita la mantenibilidad conllevando a un fácil cambio del asiento.⁷

⁷ Ibíd., p. 9

Figura 8. Válvula de cuerpo partido



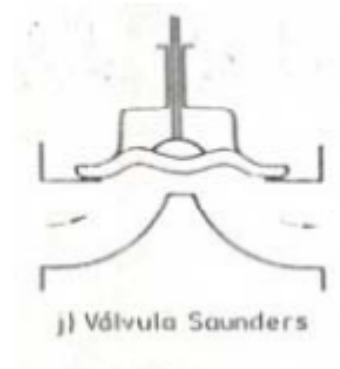
Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.7 Válvula Saunders

Usada en casos de flujos agresivos con sólidos en suspensión, de cierre hermético y construcción simple. Posee buenas características de regulación hasta el 50% de su apertura.⁸

⁸ Ibíd., p. 9

Figura 9. Válvula Saunders



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.8 Válvula de obturador excéntrico rotativo (Camflex)

“las válvulas de obturador excéntrico rotativo, poseen gran capacidad de caudal con una elevada pérdida de carga y de rápida acción”.⁹

⁹ Ibíd., p. 9

Figura 10. Válvula de obturador excéntrico rotativo



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.9 Válvula excéntrica

“las válvulas de obturador cilíndrico excéntrico que asienta sobre un cuerpo cilíndrico, Posee alta hermeticidad, es de bajo costo y alta capacidad. Aplicadas en flujos corrosivos y viscosos con sólidos en suspensión”.¹⁰

¹⁰ Ibíd., p. 9

Figura 11.Válvula excéntrica



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.10 Válvula mariposa

“se emplean para el control de grandes flujos de fluidos a baja presión. Posee buen cierre hermético con recubrimientos especiales sobre el asiento. Aplicaciones de servicio general, líquidos, gases, pastas semilíquidas, líquidos con sólidos en suspensión, Ligera de peso compacta y bajo costo de poco mantenimiento, número mínimo de piezas móviles. De alta capacidad y circulación en línea recta. Se limpia por si sola.”¹¹

¹¹ Ibíd., p. 10

Figura 12. Válvul de mariposa



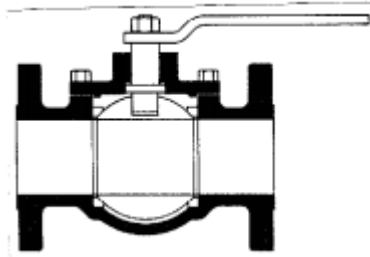
Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.11 Válvula de bola o esférica

“De $\frac{1}{4}$ de vuelta, con bola taladrada y giro entre asientos elásticos. Permite una circulación directa en posición abierta. Recomendada para servicio de conducción y corte, sin estrangulación. De apertura rápida, para temperaturas moderadas y de resistencia mínima a la circulación. Aplicación en servicio general, altas temperaturas, pastas semilíquidas con sólidos en suspensión.”¹²

¹² Ibíd., p. 10

Figura 13.Válvula de bola



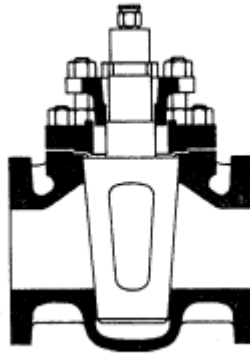
Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.2.12 Válvula de macho

Es de $\frac{1}{4}$ de vuelta, controla la circulación por medio de un macho cilíndrico o cónico con agujero en el centro. Aplicada en servicio general, flujos corrosivos, líquidos, vapores y gases. Poseen alta capacidad, bajo costo, o 10 cierre hermético y funcionamiento rápido.¹³

¹³ Ibíd., p. 10

Figura 14. Válvula de macho.



Fuente: GOLATO, Marcos. Catedra de sistemas de control [imagen]. Válvula de globo. Argentina: Universidad Nacional de Tucumán. 2004. [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://catedras.facet.unt.edu.ar/sistemasdecontrol>.

0.6.3 ELECTRO VÁLVULAS

Es un dispositivo operado eléctricamente variando la corriente que circula a través de un solenoide (conductor ubicado alrededor de un émbolo, en forma de bobina) y es utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases, en posición completamente abierta o completamente cerrada.

Al circular la corriente por el solenoide genera un campo magnético que atrae el émbolo móvil. Al finalizar el efecto del campo magnético, el émbolo vuelve a su posición por efecto de la gravedad, un resorte o por presión del fluido a controlar.

0.6.3.1 Electro-válvulas de 3 vías

La válvula de control de tres vías tiene como función impedir el flujo de un fluido que viaja de un punto A con destino a un punto C, para dar paso al flujo de un fluido que viaja de un punto B con destino al mismo punto C.

Esta válvula se distingue por tener tres puertos A, B, C y esta se caracteriza normalmente por un parámetro llamado coeficiente de flujo (CV -[GPM/PSI] o KV-[m³/h]).

Estas válvulas suelen estar dotadas de un actuador ya sea térmico, neumático o un actuador eléctrico, el cual tiene como función principal dar la energía necesaria para generar la apertura o cierre del elemento encargado de controlar el flujo de los fluidos, ya sea un macho un diafragma o una bola.

Estas válvulas se clasifican de la siguiente manera:

CARVALLO, Juan Pablo y VARGAS René plantean,

- a. **“Según su aplicación:** acción directa u operada mediante un piloto.
- b. **Según su construcción:** normalmente abierta o normalmente cerrada.
- c. **Según su forma:** De acuerdo al número de vías.”¹⁴

¹⁴ CARVALLO, Juan Pablo, VARGAS René. Válvulas de Solenoide. Departamento de Ingeniería Electrónica, Universidad Técnica Federico Santa María, Casilla 110-V, Valparaíso, Chile. Citado por Ecured [Sitio web]. Chile; [Consultado: 2020]. Disponible en https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_solenoide/

Figura 15. Válvula solenoide de 3 vías.



Fuente: MECALUX LOGICSMARKET. Válvulas solenoide de tres vías. [Imagen]. España. 2020, [Consultado: 2020]. Disponible en: <https://www.logismarket.es/>.

0.6.4 CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA UNA VÁLVULA CON SOLENOIDE

Para la selección de una válvula se requiere tener en cuenta criterios específicos de operación de la misma, por ejemplo:

- Fluido a controlar (viscosidad y pH).
- Rangos de presión de operación.
- Temperatura del fluido y del medio externo.
- Tipo de cañería o conexión tamaño y estilo.
- Características eléctricas de la válvula (rangos de tensión de operación; tipo de corriente de operación DC o AC)
- Normalmente abierta o cerrada.
- Con o sin vástago manual, etc. (J. Carvallo, R. Vargas , 2020)

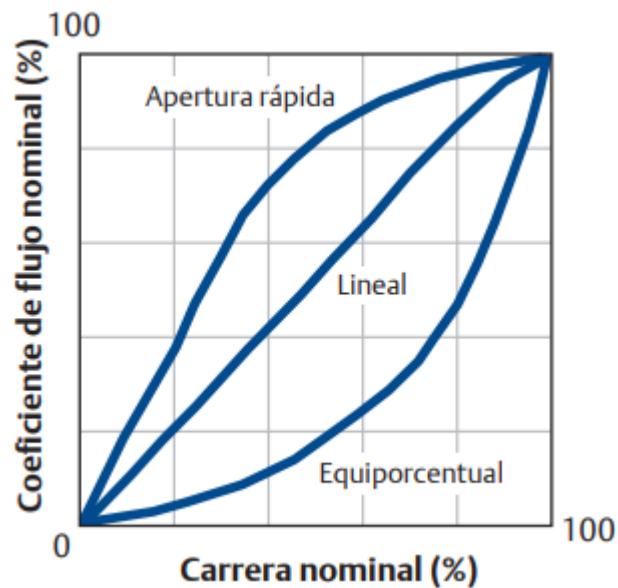
0.6.5 CARACTERÍSTICAS DE CAUDAL INHERENTE

Se denomina característica inherente de la válvula, a la relación entre el caudal que pasa a través de ella y la carrera del vástago, manteniendo constante la diferencia de presión entre la entrada y la salida de la misma.

Esta característica está dada por la expresión $Q = K * L$ donde:

- Q =caudal en [m³/s]
- K =constante de pérdidas (dimensiones, velocidad.)

Figura 16. Característica de caudal inherente.



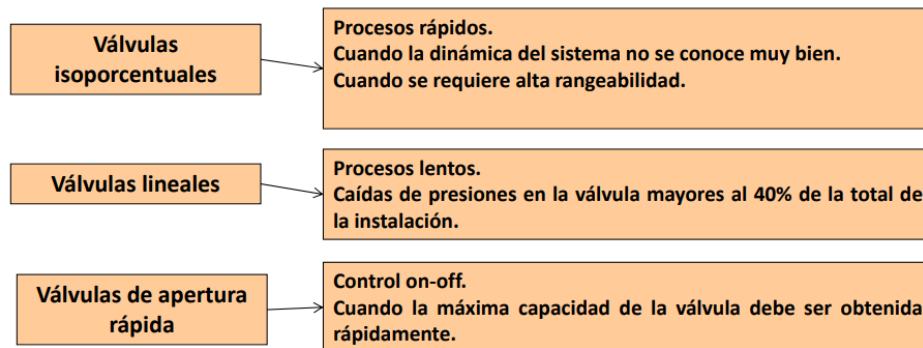
Fuente: REINOZA, Ricardo, RODRIGUEZ, Jackelyne . Característica de caudal inherente: definición, gráfica descriptiva, clasificación de las válvulas según esta característica. [Imagen]. Colombia. 2010, [Consultado: 2020]. Disponible en: <http://visitastecnicas2008instrumentacion.blogspot.com/2008/03/asignacion-caracteristica-de-caudal.html>.

La ilustración 17 indica que en la práctica se encuentran tres curvas fundamentales:

- Apertura rápida: al iniciarse la apertura de La válvula, con poco avance del vástago, deja pasar gran caudal. Por tal razón no es útil para la regulación de flujos porque la mayor parte de la variación del coeficiente de la válvula se realiza en el tercio inferior del desplazamiento de la válvula. Las válvulas de apertura rápida son apropiadas para válvulas de alivio y para sistemas de control de dos posiciones.¹⁵
- Lineal: el caudal es proporcional al grado de apertura de la válvula. La válvula de característica lineal produce un coeficiente proporcional a la posición de la válvula. A una apertura, por ejemplo, del 50 % el flujo a través de la válvula es el 50 % de su flujo máximo. Las válvulas de características lineales se utilizan en procesos lineales y en casos en los cuales la caída de presión a través de la válvula no cambia con la variación en el flujo.
- Igual porcentaje: una válvula de igual porcentaje tiene la propiedad de que a iguales incrementos en la apertura de la válvula producen iguales aumentos relativos o en porcentajes en el coeficiente de la válvula.

¹⁵ REINOZA, Ricardo, RODRIGUEZ, Jackelyne . Característica de caudal inherente: definición, gráfica descriptiva, clasificación de las válvulas según esta característica. En: *Visitas técnicas* [En línea]. Colombia, 2008. [Consultado: 2020]. Disponible en <http://visitastecnicas2008instrumentacion.blogspot.com/2008/03/asignacion-caracterstica-de-caudal.html>

Figura 17. Resumen características



Fuente: REINOZA, Ricardo, RODRIGUEZ, Jackelyne . Característica de caudal inherente: definición, gráfica descriptiva, clasificación de las válvulas según esta característica. [Imagen]. Colombia. 2010, [Consultado: 2020]. Disponible en: <http://visitastecnicas2008instrumentacion.blogspot.com/2008/03/asignacion-caracterstica-de-caudal.html>.

En la **figura 17**, se mencionan algunas aplicaciones de acuerdo a la característica de caudal inherente de cada válvula.

0.6.6 NÚMERO DE REYNOLDS Y TEOREMA DE TRANSPORTE DE REYNOLDS

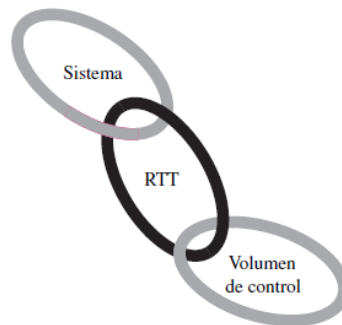
El número de Reynolds (Re) es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseño de reactores y fenómenos de transporte para caracterizar el movimiento de un fluido (fórmula 1). En 1880 *Osborne Reynolds* descubrió que este número relaciona las fuerzas inerciales con respecto a las fuerzas viscosas en el fluido en una tubería circular.

$$Re = \text{Fuerzas viscosas} / \text{fuerzas inerciales}$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

En la mecánica de fluidos resulta más conveniente trabajar con volúmenes de control, por lo tanto, surge la necesidad de relacionar el volumen de control con el sistema, relacionándose entre sí, con la razón de cambio del tiempo con respecto a una propiedad extensiva. Para un Sistema y para un volumen de control esta propiedad que relaciona estos dos factores se conoce como el teorema de transporte de Reynolds¹⁶.

Figura 18 Relación RTT con sistema y volumen de control



Fuente: CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones.: definición, gráfica descriptiva, Relación RTT con sistema y volumen de control. [Imagen]. México 2006, [Consultado: 2020].

En la **Figura 18**, se describe como el teorema de transporte de Reynolds (RTT) proporciona un vínculo entre el enfoque de sistema y el de volumen de control

¹⁶ CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006, 149 p. ISBN: 970-10-5612-4

0.7 FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

El flujo de un fluido se describe de acuerdo a su comportamiento dentro del volumen de control por el cual fluye, es decir, una inspección cuidadosa del flujo en una tubería revela que el flujo de fluidos es de líneas de corrientes aproximadamente paralelas a bajas velocidades, pero se vuelve caótico conforme la velocidad aumenta sobre un valor crítico.

Se dice que el régimen de flujo en el primer caso es laminar ($Re \leq 2300$), y se caracteriza por líneas de corrientes suaves y un movimiento sumamente ordenado; mientras el segundo caso es turbulento ($Re \leq 4000$), y se caracteriza por fluctuaciones de velocidad y movimiento desordenado. Es de tener en cuenta que la transición entre el flujo laminar y el flujo turbulento no ocurre de manera repentina; más bien sucede sobre cierta región en la que el flujo fluctúa entre laminar y turbulento antes de volverse totalmente turbulento ($2300 \leq Re \leq 4000$)¹⁷.

0.8 COEFICIENTE DE FRICCIÓN

El factor de fricción de flujo turbulento y totalmente desarrollado en una tubería depende del número de Reynolds y la rugosidad relativa de la tubería ϵ/D , la cual indica razón de la altura media de rugosidad de la tubería al diámetro de la misma.

La forma funcional de esta situación no se puede obtener a partir de un análisis teórico, y todos los resultados disponibles se obtienen a partir de experimentos cuidadosos que usan superficies con rugosidades creadas artificialmente.

¹⁷ CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006, 324 p. ISBN: 970-10-5612-4

El factor de fricción se calculó a partir de las mediciones de la razón de flujo y la caída de presión. Los resultados experimentales se presentan en forma tabular, gráfica y funcional, obtenidos de datos experimentales de ajustes de la curva.

En 1939 Cyril Colebrook combinó datos disponibles para flujo en transición y turbulento en tuberías lisas y rugosas en una ecuación llamada la ecuación de Colebrook¹⁸.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\frac{\varepsilon}{D}}{3.7} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (2)$$

A raíz de la variación en la precisión de la rugosidad de los elementos de prueba para la obtención de los valores correspondientes a la ecuación anterior en 1983 S.E. Haaland proporcionó una relación explícita aproximada para f la cual actualmente es usada en ingeniería para los cálculos del factor de fricción.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\varepsilon/D}{3.7} \right)^{1.11} \right) \quad (3)$$

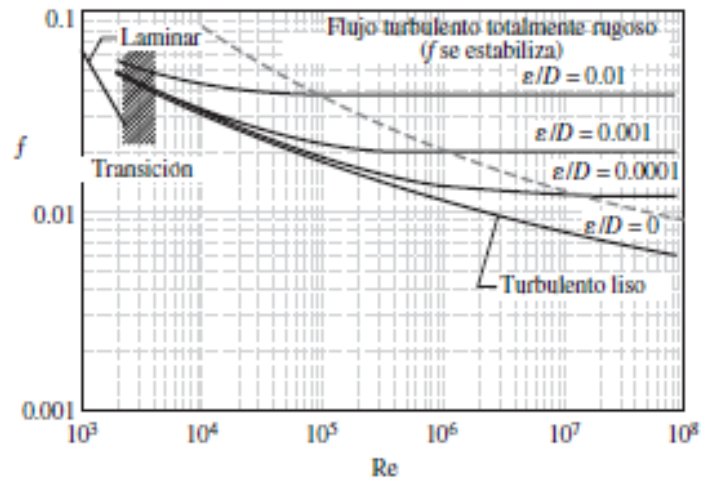
¹⁸ CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones. México: McGraw-Hill, 2006, 341 p. ISBN: 970-10-5612-4

Los resultados obtenidos a partir de esta relación se encuentran dentro del 2% de los obtenidos por la ecuación de *Colebrook*¹⁹.

0.9 DIAGRAMA MOODY

El diagrama de Moody representa el factor de fricción de *Darcy - Weisbach* para el flujo en tuberías como función del número de Reynolds y la relación de la rugosidad de la tubería con respecto al diámetro de la misma. Quizás es uno de los diagramas de uso más generalizado aceptado y utilizado en ingeniería. Aunque se concibió para tuberías circulares, también se puede usar para tuberías no-circulares cuando se sustituya el diámetro por el diámetro hidráulico.

Figura 19. Diagrama de Moody



Fuente: CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones.: definición, gráfica descriptiva, Relación RTT con sistema y volumen de control. [Imagen]. México 2006, [Consultado: 2020].

¹⁹ *Ibíd.*, p. 341

En la figura 19 se observa el comportamiento del factor de fricción con respecto a la variación de la rugosidad y del número de Reynolds, teniendo como característica la estabilización de las curvas a medida que incrementa el número de Reynolds.

0.10 COEFICIENTE DE FLUJO

La necesidad universal de normalizar el cálculo de las dimensiones de las válvulas, no sólo en cuanto a tamaño sino también en cuanto a capacidad de paso del fluido ha llevado a los fabricantes y a los usuarios a adoptar un coeficiente que refleja y representa la capacidad de las válvulas de control.

El primer coeficiente de dimensionamiento de válvula que se utilizó fue el denominado C_v , que, empleado inicialmente en Estados Unidos, se define como: Caudal de agua en galones USA por minuto que pasa a través de la válvula en posición completamente abierta y con una pérdida de carga de una libra por pulgada cuadrada (psi).

En los países que emplean unidades métricas se suele utilizar además el coeficiente K_v , que la norma internacional IEC-534-1987 sobre Válvulas de Control de Procesos Industriales define del siguiente modo: Caudal de agua (de 5 a 400°C) en m³/h que pasa a través de la válvula a una apertura dada y con una pérdida de carga de 1 bar (10^5 Pa) (1,02 bar).

El coeficiente K_v para la válvula totalmente abierta se denomina K_{vs} mientras que el mínimo valor recibe el nombre de K_{vo} . Por lo tanto, la relación K_{vs}/K_{vo} es la denominada "rangeabilidad" o "campo de control" que expresa la relación de caudales que la válvula puede controlar. En las válvulas de control isoporcentuales,

esta relación suele valer 30 a 1 o bien 50 a 1 y en las lineales 15 a 1 o 30 a 1. La equivalencia entre los coeficientes Kv y Cv para válvula totalmente abierta es 20:

$$K_v = 0,86 C_v \text{ (m}^3/\text{h)}$$

$$C_v = 1,16 K_v \text{ (galones por minuto)}$$

Figura 20. Calculo de factores para diferentes fluidos.

Fluidos	Cálculo de caudal; Q_v = líquidos; Q_g = gases; Q_m = vapores	Cálculo del factor de flujo Kv (m ³ /h)	Caída de presión (bar)
Líquidos	$Q_v = K_v \sqrt{\frac{\Delta p}{\gamma}}$	$K_v = Q_v \sqrt{\frac{\gamma}{\Delta p}}$	$\Delta p = \gamma \left[\frac{Q_v}{K_v} \right]^2$
Gases	$P_2 > \Delta p$ $Q_g = 500 \cdot K_v \sqrt{\frac{P_2 \cdot \Delta p}{\delta_g (273 + t)}}$	$K_v = \frac{Q_g}{500} \sqrt{\frac{\delta_g (273 + t)}{P_2 \cdot \Delta p}}$	$\Delta p = \frac{P_1}{2} \cdot \sqrt{\frac{P_1^2 - C}{4}}$ $C = \delta_g T \left[\frac{Q_g}{500 K_v} \right]^2$
	$P_2 \leq \Delta p$ $Q_g = \frac{250 \cdot K_v \cdot P_1}{\sqrt{\delta_g (273 + t)}}$	$K_v = \frac{Q_g \sqrt{\delta_g (273 + t)}}{250 \cdot P_1}$	
Vapores saturados secos	$P_2 > \Delta p$ $Q_m = K_v \cdot 31.7 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_2}}$	$K_v = \frac{Q_m}{31.7} \sqrt{\frac{v_2}{\Delta p}}$	$\Delta p = \left[\frac{Q_m}{K_v 31.7} \right]^2 \cdot v_2$
	$P_2 \leq \Delta p$ $Q_m = K_v \cdot 22.5 \sqrt{\frac{P_1}{v_1}}$	$K_v = \frac{Q_m}{22.5} \sqrt{\frac{v_1}{P_1}}$	

En la figura 20, se muestran las diferentes alternativas para el cálculo del coeficiente de flujo para una válvula de acuerdo a su fluido de trabajo.

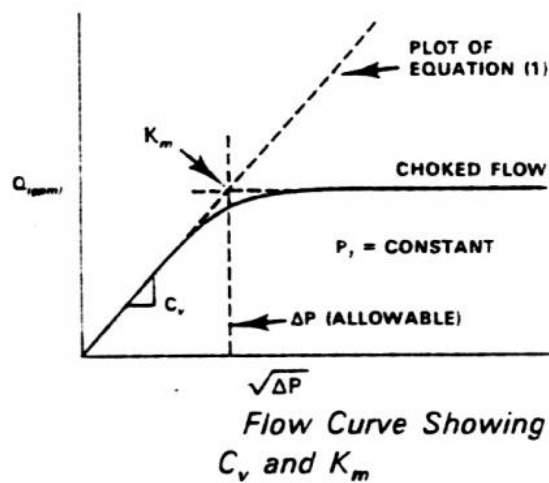
0.11 FLUJO OBSTRUIDO EN LÍQUIDOS “FLUJO AHOGADO”

Si el fluido es un líquido, se produce un tipo diferente de condición de limitación (también conocida como flujo ahogado) cuando el efecto Venturi que actúa sobre el flujo de líquido a través de la restricción provoca una disminución de la presión del

²⁰ CREUS SOLÉ, Antonio. Instrumentación industrial. México: Alfa omega grupo editor, 1998, 427 p. ISBN: 970-15-0246-9

líquido más allá de la restricción por debajo de la del vapor del líquido. En ese punto, el líquido parcialmente parpadeará en burbujas de vapor y el posterior colapso de las burbujas provoca cavitación. La cavitación es bastante ruidosa y puede ser lo suficientemente violenta como para dañar físicamente válvulas, tuberías y equipos asociados. En efecto, la formación de burbujas de vapor en la restricción evita que el flujo aumente más.²¹

Figura 21. Flujo de ahogo vs ∇p



Uno de los problemas de la cavitación es que limita el flujo. La cavitación produce burbujas que son vapor de fluido. Estos vapores ocupan 800 veces más (en promedio) volumen que el líquido, por lo que el flujo se ve obstruido por la presencia de burbujas.²²

²¹ QWERTY. Flujo ahogado: (Choked flow). Fecha de actualización [20 de julio de 2020]. [Consultado: 2020]. Disponible en: https://es.qaz.wiki/wiki/Choked_flow

²² AIE. Cavitación: [Consultado: 2020]. Disponible en: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/valvulas-de-control.pdf>

0.12 NORMATIVA PARA CONSTRUCCIÓN DE VÁLVULAS.

1. American Society of Mechanical Engineers (ASME)
2. American National Standards Institute (ANSI)
3. Manufacturers Standardization Society (MSS)
4. American Petroleum Institute (API)
5. American Society of Testing Materials (ASTM)
6. American Water Works Association (AWWA)

ASME/ANSI B16.34 Estándar para válvulas y accesorios en bronce, cobre y acero.

22 ANSI/API 600 Estándar para válvulas y accesorios en el Campo Petrolero y Gas Combustible.

FM/UL Estándar para válvulas y accesorios en el Campo Petrolero y Gas Combustible.

API 603 Estándar para válvulas y accesorios en Líneas de Red Contra Incendio

ASTM D1785 Estándar para tubería PVC clase 40, 80, y 120, el espesor en función de la presión nominal

0.13 SOLIDWORKS

Es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.²³

0.13.1 Módulo *Flow Simulation*

Permite simular el flujo de gases y líquidos en condiciones reales, ejecutar casos hipotéticos y analizar de forma eficaz los efectos del flujo de fluidos, la transferencia de calor y otras fuerzas relacionadas en componentes sumergidos o próximos. Fue impulsado por fines de ingeniería con el objetivo de eliminar la complejidad de la dinámica de fluidos computacional (CFD). Así, los ingenieros pueden aprovechar los datos de la CFD y tomar unas decisiones técnicas más enfocados a la ingeniería concurrente.²⁴

²³ SOLIDWORKS. Solidworks Flow Simulation. Francia: Dassault Systèmes. 2020. [Consultado: 2020]. **Disponible** en: <https://www.solidworks.com/es/product/solidworks-flow-simulation#:~:text=SOLIDWORKS%C2%AE%20Flow%20Simulation%20es,as%C3%AD%20el%20rendimiento%20y%20las>.

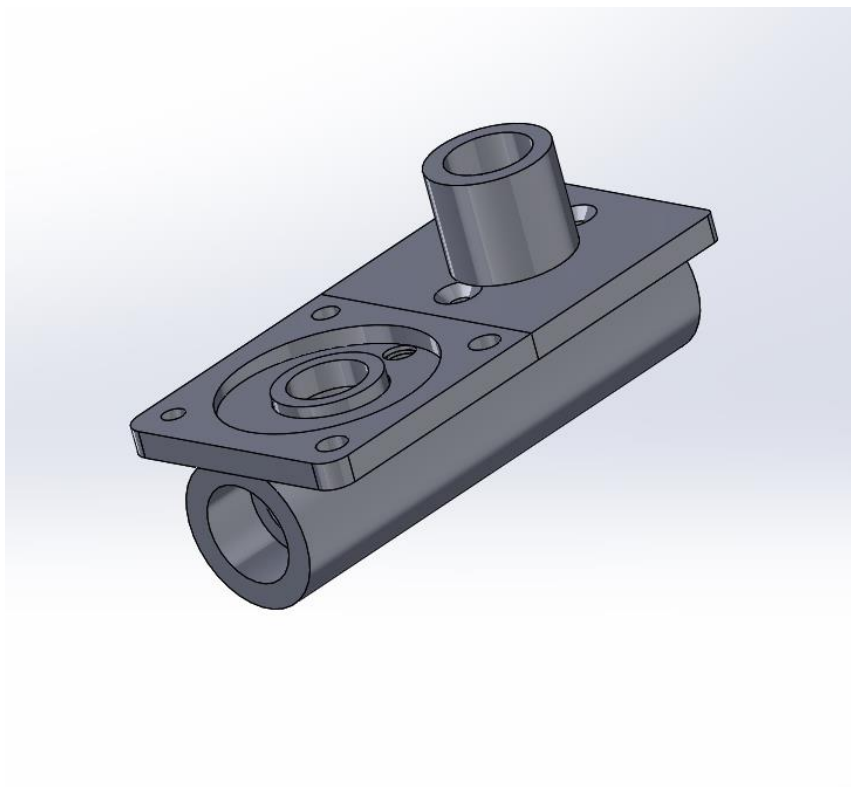
²⁴ Ibíd.

1. CARACTERIZACIÓN DE LA VALVULA INICAL

1.1 OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN PRIMARIA PROTOTIPO DE VÁLVULA 1

El levantamiento de los planos para el prototipo inicial de este proyecto (Figura 22), se fundamentó en el procesamiento de la información y en el análisis del comportamiento del fluido a través de la válvula (Ver anexo A).

Figura 22. Prototipo de válvula N°1.



1.2 ANÁLISIS DEL PROTOTIPO 1

El análisis realizado en el laboratorio de Fluidos de la Universidad Tecnológica de Pereira, se llevó a cabo en un banco de prueba *Edibon*, el cual cuenta con una

bomba centrífuga, una válvula de globo en pvc, además de un rotámetro con un rango de (0-75) LPM, para la medición del flujo que pasa por los elementos.

Para este análisis se realizaron adecuaciones al prototipo de válvula 1, debido a que presentaba fugas en diferentes elementos, además del bloqueo de una de las vías cuando la otra se encontraba en prueba.

En las figuras 23 y 24 se muestra la trayectoria del fluido a través de su paso por cada una de las vías de la válvula.

Figura 23. Recorrido fluido via 1 válvula N°1.

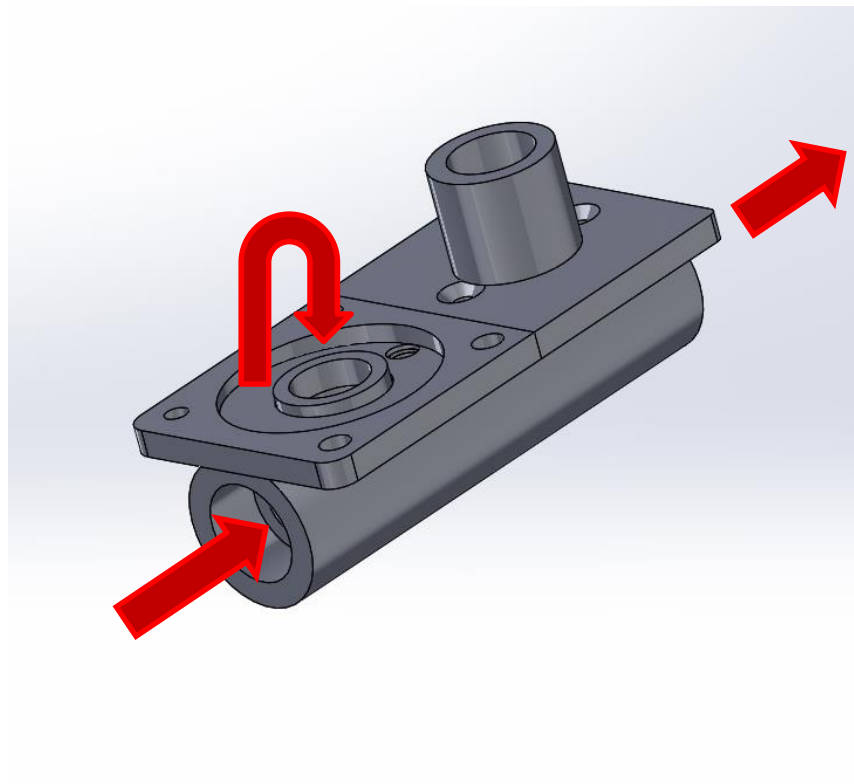
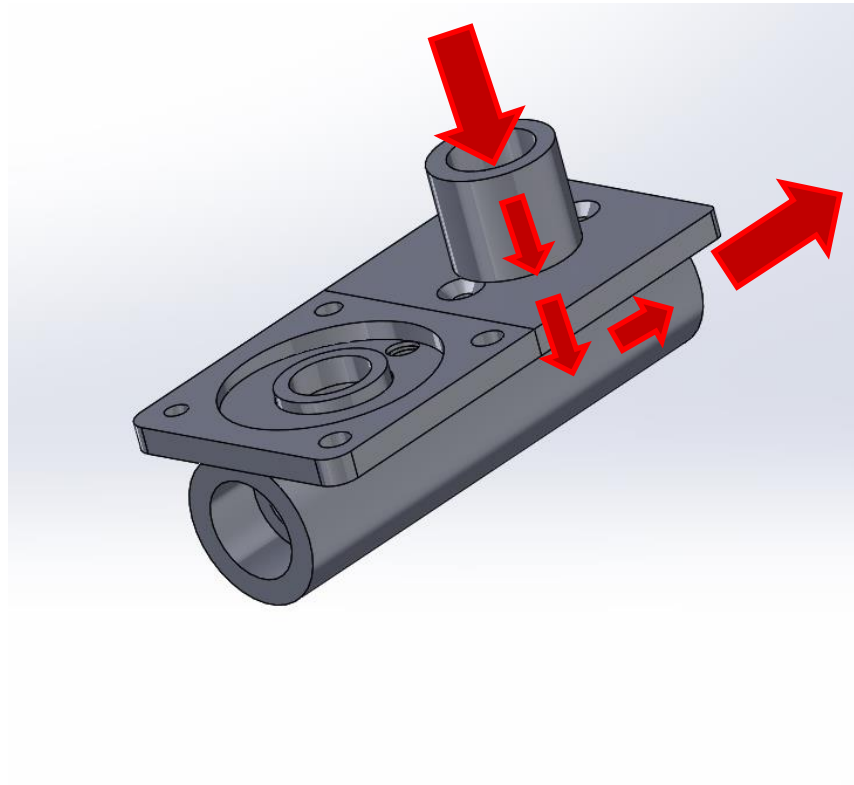


Figura 24. Recorrido fluido via 2 válvula N°1



La prueba desarrollada en el banco del laboratorio, entregó resultados relacionados con la presión y el flujo máximo permisible por este prototipo, y así poder caracterizar el conducto por el cual fluye el agua.

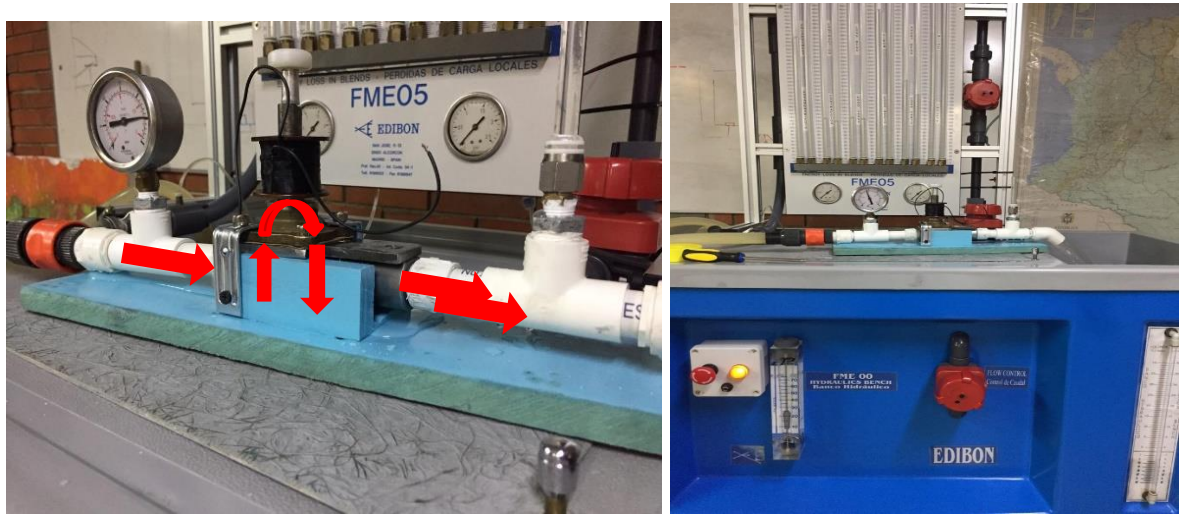
Para el cálculo del coeficiente de flujo del prototipo 1 y 2 se utilizó la fórmula (4)

$$C_v = \frac{Q[Gpm]}{\sqrt{(P_{int} - P_{out})} [Psi]} \quad (4)$$

- Vía 1 prototipo inicial (figura 23):

En este caso se analizó el denominado conducto 1 prototipo 1, el encargado de llevar el agua potable a su destino final como se indica en la figura 25.

Figura 25. Análisis vía 1 válvula N°1



En la tabla 1 se encuentra que para un flujo máximo de 27,5 [Lpm] y una presión de entrada 39,7 [Psi] el prototipo de válvula 1, y aplicando la fórmula (4) presenta un coeficiente de flujo equivalente a 1,45 [Gpm/Psi], siendo un coeficiente de flujo bajo debido a que esta línea presenta cambios de sección bruscos, además, de los cambios de dirección del fluido.

Tabla 1. Resultado vía 1 prototipo1

Q [Lpm]	Q [Gpm]	Pint [Psi]	Pout [Psi]	$\sqrt{\Delta P}$	Cv [$\frac{Gpm}{Psi}$]	Kv [$\frac{m^3}{h \cdot bar}$]
27,5	7,26	39,7	14,7	5	1,45	1,68

Figura 26. Campo de control vía 1

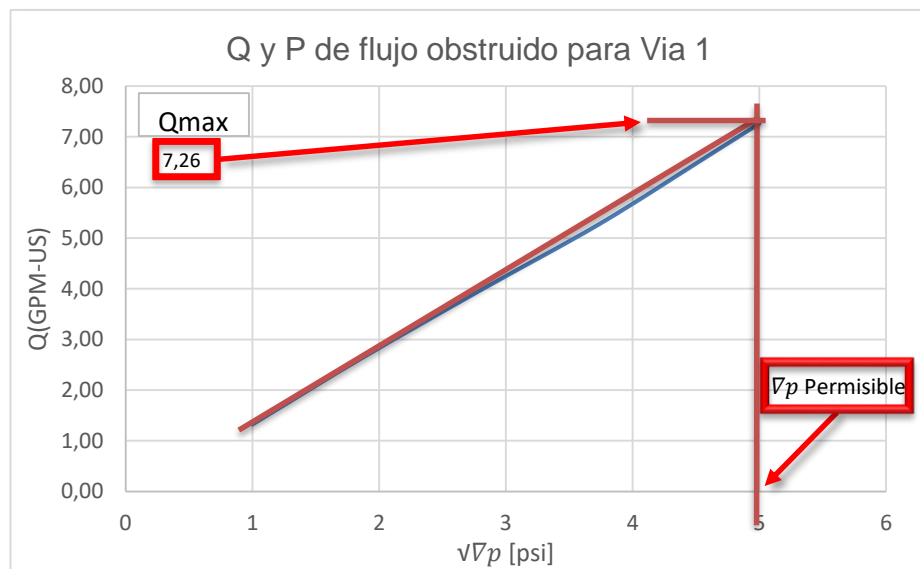
Rangeabilidad/campo de control	1,1
--------------------------------	-----

En la figura 26 se determina la relación entre el mayor y el menor valor del coeficiente de flujo (Kv) en [$m^3/h \cdot bar$], la cual es acorde a una válvula con

característica de caudal inherente tipo lineal, ya que genera un valor de rangeabilidad de 1,1:1 lo cual indica que la válvula regula el caudal entre el 1,1% y el 100% de la carrera del diafragma.

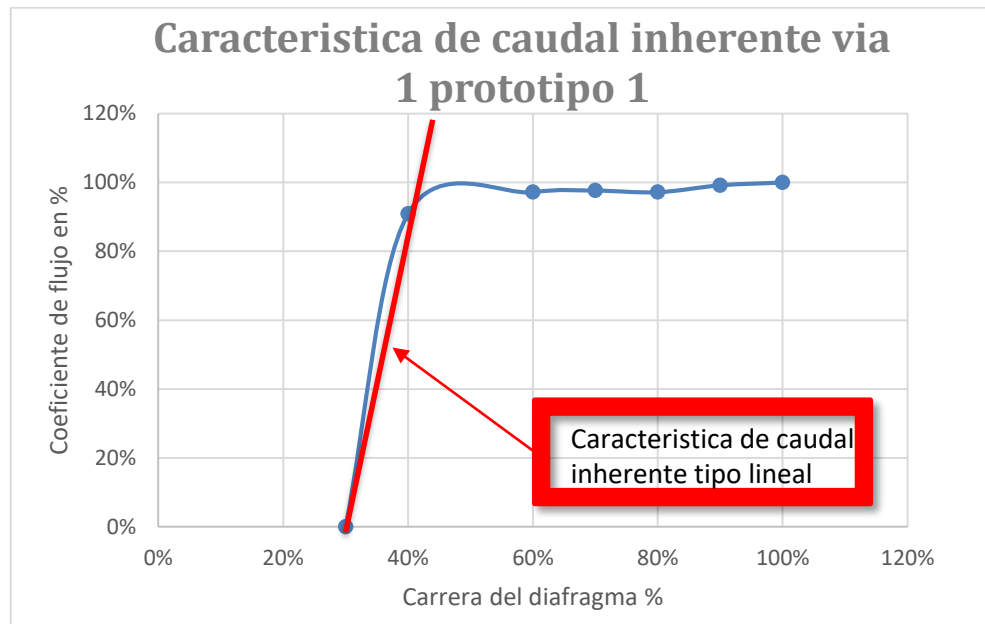
Con base en los valores experimentales informados en la tabla 1, en el grafico 1, se muestra el comportamiento del fluido a través de la vía 1, y el punto donde el flujo genera cavitación, por tal razon, se determina que el flujo de ahogo y el Δp permisible son equivalentes a 7,26 [Gpm] y 5 [Psi] respectivamente, los cuales se interpretan como los valores característicos de caudal y presión admisible de flujo obstruido para esta vía.

Grafico 1. Características flujo obstruido vía principal



El grafico 2, hace referencia a la figura 16, donde se describe la característica de caudal inherente, y muestra el comportamiento del fluido a través de la vía 1 del prototipo inicial, donde es evidente una tendencia lineal hasta alcanzar su flujo maximo. Además, indica que para un 40% de la apertura del obturador se tiene aproximadamente el 90% del valor máximo del coeficiente de flujo.

Grafico 2.Característica de caudal inherente vía 1



Complementariamente, se determinó el valor del caudal limite , y el delta de presión limite para la vía 1 del prototipo inicial, estos valores son validos cuando se cumple con la desigualdad:

$$\Delta P > (P_1 - P_2) \quad (5)$$

Donde P_1 y P_2 corresponden a la presión de entreda y salida respectivamente, en el punto de mayor flujo. Además, el caudal limite y el ΔP_l son:

$$\Delta P_{max_l} = Fl^2 * (P_1 - F_f * Pv) \quad (6)$$

Donde F_f es igual a:

$$F_f = 0,96 - 0,28 * \left(\frac{P_v}{P_c}\right)^{0,5} \quad (7)$$

Y P_v y P_c son:

$$P_{v@20^\circ C} = 0,34 \text{ [Psia]}$$

$$P_c = 3203,88 \text{ [Psi]}$$

Tomando como referencia, que el conducto es considerado como un conducto de alta recuperacion, y que la presión de descarga del fluido es mucho mayor que la presión de vapor se tiene que el factor de recuperación, $F_l = 1$.

Para el caudal limite se tiene que:

$$Q_{max_l} = N_1 * F_l * C_v * \left(\frac{P_1 - F_f * P_v}{Gf}\right)^{0,5} \quad (8)$$

Donde Gf es la relación entre el peso especifico del fluido y el peso especifico del agua

$$Gf = \frac{\gamma_f}{\gamma_{H2O}} \quad (9)$$


Por lo tanto $Gf = 1$

Y C_v corresponde al valor maximo del coeficiente de flujo en $[Gpm / Psi]$, de tal forma que:

$$C_v = 1,45 [Gpm / Psi]$$

De igual forma se referencia el coeficiente de corrección de unidades el cual adquiere su valor de acuerdo al sistema de unidades utilizado, por lo tanto y se muestra en la tabla 2, se tiene que:

Tabla 2. Factor de corrección de unidades

N1	0,087	$\frac{m^3}{h}$	<i>kPa</i>	
	0,87	$\frac{m^3}{h}$	<i>bar</i>	
	1	<i>Gpm</i>	<i>Psia</i>	

Finalmente, se determinan los valores de caudal limite y el ΔP_l limite los cuales se muestran en la Tabla 3..

Tabla 3. Caudal limite y ΔP_l de vía 1 prototipo 1.

Caudal máximo de la vía 1	<i>Gpm</i>	9,15
ΔP máximo	<i>Psia</i>	39,37
$(P_1 - P_2)$	<i>Psia</i>	25,00

- **Vía 2 prototipo inicial** (Figura 27):

Figura 27. Análisis vía 2 válvula N°1

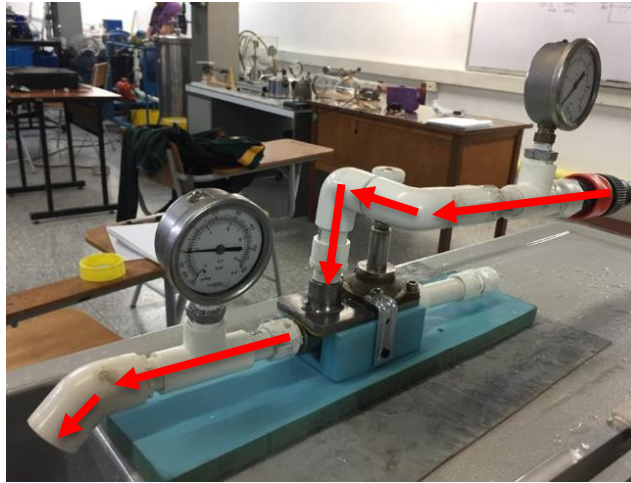


Tabla 4. Resultado vía 2 prototipo 1

Q [Lpm]	Q [Gpm]	Pint [psia]	Pout [psia]	$\sqrt{\Delta P}$	Cv [$\frac{Gpm}{Psi}$]	Kv [$\frac{m^3}{h \cdot bar}$]
40	10,57	22,2	14,7	2,74	3,86	4,46

En la tabla 4, se referencia que para un flujo máximo de 40 Lpm y una presión de entrada 22,20 *Psia*, el prototipo de válvula 1 en su segunda vía, presenta un coeficiente de flujo equivalente a 3,86 [*Gpm/Psi*], siendo un coeficiente de flujo más alto que su vía 1, debido, a que esta línea presenta una sección uniforme, sin embargo, presenta un cambio de dirección y un elemento que controla el flujo que en este caso es un cheque. Además de tener una rangeabilidad mayor que la vía principal.

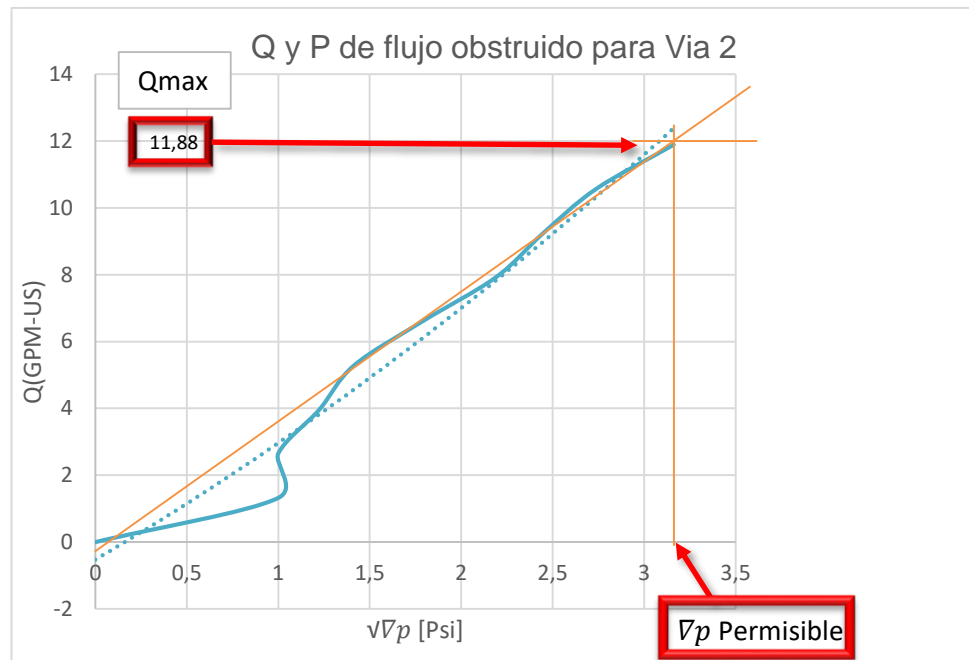
Figura 28. Campo de control vía 2

Rangeabilidad/campo de control	1,88
--------------------------------	------

En la figura 28, de la misma forma que la figura 26, el valor de la rangeabilidad para la vía 2 del prototipo 1, se determina con la relación entre el valor máximo y mínimo del coeficiente de flujo (K_v) en $[m^3/h \text{ bar}]$. Para este caso se tiene un valor de 1,88:1 indicando que su campo de control de caudal se encuentra entre el 1,8 % y el 100% de la carrera del obturador.

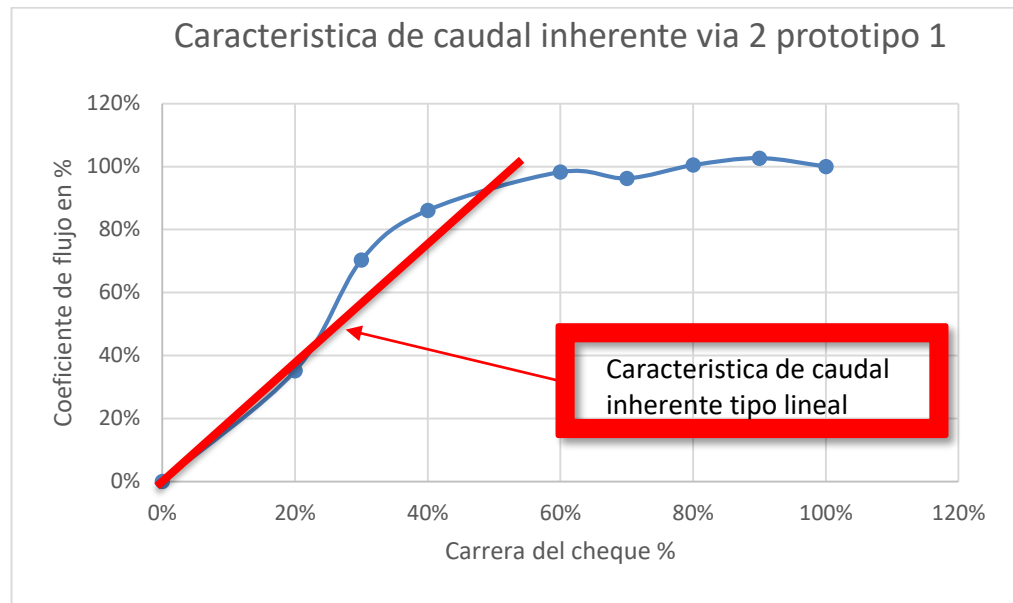
Basandose en los valores experimentales informados en la tabla 4, en el grafico 3, se muestra el comportamiento del fluido a través de la vía 2, y el punto donde el flujo genera cavitación, por tal razon, se determina que el flujo de ahogo y el Δp permisible son equivalentes a 11,88 $[Gpm]$ y 3,2 $[Psi]$ respectivamente, los cuales se interpretan como los valores característicos de caudal y presión admisible de flujo obstruido para esta vía.

Grafico 3. Características flujo obstruido vía secundaria



Para la vía 2 del prototipo 1 se tiene un incremento notable en el flujo, aproximadamente del 63 % con respecto al valor de la vía 1, debido a las características constructivas de la sección 2, ya que esta tiene un diametro de 16 mm en toda su sección, por tal razon se logra un valor de 11, 8 GPM con un diferencial de presión que disminuye en un 36% con relación a la vía 1.

Grafico 4. Característica de caudal inherente vía 2



Conservando el esquema, el grafico 4 indica que para esta vía el comportamiento de su característica de caudal inherente es lineal, de igual forma que en su vía principal, ya que en ninguna de estas se regula el flujo, en esta solamente se controla.

De igual forma se evidencia que en la trayectoria 2, aproximadamente al 60% de la apertura del obturador se obtiene casi el 100% del coeficiente de flujo máximo.

En esta vía, se cumple con la premisa que indica que la variación entre la presión de entrada y salida de la válvula, es menor a la presión máxima permisible calculada, por tal razón, se muestran los resultados de las características físicas de la vía 2.

Figura 29. Características físicas vía 2 prototipo 1

Caudal máximo de la vía 1	G_{pm}	18,68
ΔP máximo	P_{sia}	24,37
$(P_1 - P_2)$	P_{sia}	10

Donde para el cálculo de ΔP_{max_l} (6) y Q_{max_l} (8) se define:

- La ecuación 7 se calcula con los mismos valores de P_v y P_c

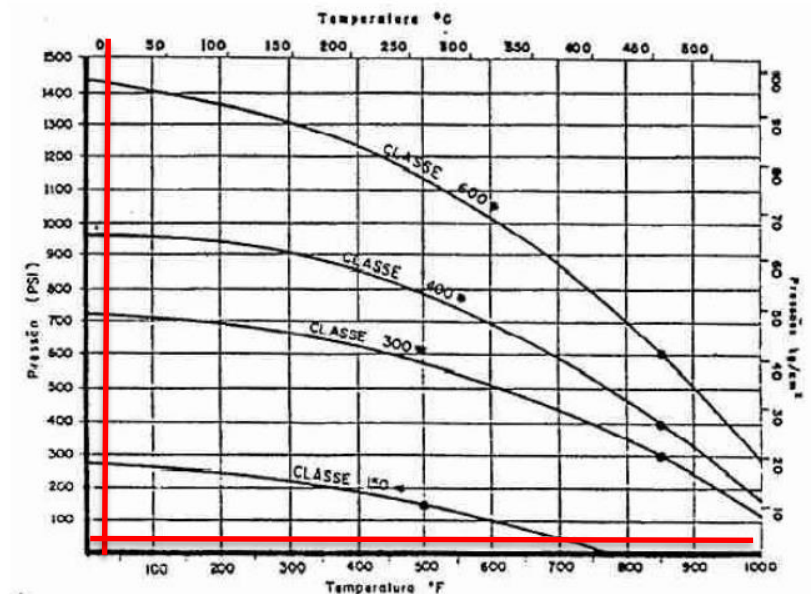
$$- P_{v@20^\circ C} = 0,34 [P_{sia}]$$

$$- P_c = 3203,88 [Psi]$$

- $F_l = 1$, ya que se tiene la misma consideración, a raíz de evidenciarse la alta recuperación en el valor de la presión a la salida de la trayectoria 2.
- La relación de pesos específicos G_f se mantiene debido a que las dos trayectorias operan con el mismo fluido.
- Y el coeficiente de corrección de unidades cumple con las mismas características que el coeficiente de la trayectoria 1.

Evidentemente la vía 2 admite un flujo con mejores características con respecto a la vía 1 a raíz de su geometría, de tal manera que conociendo sus características físicas de operación, se puede clasificar la valvula de acuerdo con lo indicado en la figura 30.

Figura 30. Clasificación según clase del prototipo 1



De tal manera que el prototipo de válvula 1 se encuentra dentro de las válvulas de clase 150 de acuerdo a sus características operativas.

Seguido a esto se clasificará el material de la válvula de acuerdo a su fluido de operación.

En la figura 31 se especifica el fluido de operación y se asigna una nomenclatura:

- **A:** denota que el material es apto para la aplicación, **B:** indica que puede ser usado, pero con restricciones, **C:** haciendo referencia a que no debería ser usado, **IL:** No se tiene información para hacer una recomendación.

Figura 31. Verificación de material para la válvula 1.

TABLE 5-IV: Corrosion Selection Guidelines

NOTE: Not to be construed as guarantees

NOTE: Not to be construed as guarantees

	Carbon Steel	Cast Iron	302 or 304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Bronze	Monel 400	Hastelloy B	Hastelloy C	Durimet 20	Titanium	Alloy 6 (co-cr)	416 Stainless Steel	440 Stainless Steel	17-4 PH Hard Stainless Steel		Carbon Steel	Cast Iron	302 or 304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Bronze	Monel 400	Hastelloy B	Hastelloy C	Durimet 20	Titanium	Alloy 6 (co-cr)	416 Stainless Steel	440 Stainless Steel	17-4 PH Hard Stainless Steel		
Acetaldehyde	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	IL	A	A	A	A	Hydrofluoric Acid (Aerated)	B	C	C	B	C	C	A	A	B	C	IL	C	C	C	C	
Acetic Acid, Air Free	C	C	C	B	B	B	A	A	A	A	C	C	B	B	Hydrofluoric Acid (Air Free)	A	C	C	B	C	A	A	A	B	C	IL	C	C	A	IL	
Acetic Acid, Aerated	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	Hydrogen	A	A	A	A	A	A	A	A	B	A	C	A	A	C	A	
Acetic Acid Vapors	C	C	C	A	B	B	IL	A	B	A	V	V	B	B	Hydrogen Peroxide	IL	A	A	A	C	A	B	B	A	IL	B	B	IL	IL		
Acetone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Hydrogen Sulfide, Liquid	C	C	A	A	C	C	A	B	A	A	C	C	IL	A	IL	
Acetylene	A	A	A	IL	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	A	Magnesium Hydroxide	A	A	A	B	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	
Alcohols	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	Mercury	A	A	A	A	B	C	B	A	A	A	A	A	A	A	B	
Aluminum Sulfate	C	C	A	A	B	B	A	A	A	IL	C	A	IL	A	Methanol	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	A	A	A	B	
Ammonia	A	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	Methyl Ethyl Ketone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Ammonium Chloride	C	C	B	B	B	B	A	A	A	A	B	C	C	IL	Milk	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	
Ammonium Nitrate	A	C	A	A	C	C	A	A	A	A	A	C	B	IL	Natural Gas	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C
Ammonium Phosphate (Mono-Basic)	C	C	A	A	B	B	A	A	B	A	B	B	IL	A	Nitric Acid	C	C	A	A	C	C	B	A	A	A	A	A	C	C	C	
Ammonium Sulfate	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	C	C	IL	A	Oleic Acid	C	C	A	B	C	C	B	A	A	A	A	A	C	C	B	
Ammonium Sulfite	C	C	A	A	C	IL	A	A	A	B	B	IL	A	A	Oxalic Acid	C	C	A	B	C	C	B	A	A	A	A	A	A	A	IL	
Aniline	C	C	A	A	C	B	A	A	A	A	C	C	IL	A	Oxygen	C	C	B	B	B	B	A	A	B	B	B	B	B	IL	IL	
Asphalt	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	A	A	Petroleum Oils, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Beer	B	B	A	B	A	A	A	A	A	A	B	B	A	A	Phosphoric Acid	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Benzene (Benzol)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Benzolic Acid	C	C	A	A	A	IL	A	A	A	IL	A	A	A	A																	
Boric Acid	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL	A																	
Butane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	A																	
Calcium Chloride (Alkaline)	B	B	C	B	C	A	A	A	A	IL	C	C	IL	A																	
Calcium Hypochlorite	C	C	B	B	B	B	C	A	A	IL	C	C	IL	A																	
Carbolic Acid	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL	A																	
Carbon Dioxide, Dry	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Carbon Dioxide, Wet	C	C	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Carbon Disulfide	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	B	B	IL	A																	
Carbon Tetrachloride	B	B	B	A	A	B	A	A	A	IL	C	A	IL	A																	
Carbonic Acid	C	C	B	B	A	A	A	A	IL	IL	A	A	A	A																	
Chlorine, Gas (Dry)	A	B	B	B	C	A	A	C	B	C	C	C	C	C																	
Chlorine, Gas (Wet)	C	C	C	C	C	C	B	C	A	B	C	B	C	C																	
Chlorine, Liquid	C	C	C	C	B	C	C	A	B	C	B	C	C	C																	
Chromic Acid	C	C	C	B	C	A	C	A	B	C	C	C	C	C																	
Citric Acid	IL	C	A	A	B	A	A	A	IL	B	B	B	B	B																	
Coke Oven Gas	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Copper Sulfate	C	C	B	B	C	IL	A	A	IL	A	A	A	A	A																	
Cottonseed Oil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Cresols	A	A	A	C	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	A																	
Ethane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Ether	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Ethyl Chloride	C	C	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL	A	A																	
Ethylene	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Ethylene Glycol	A	A	A	A	A	IL	IL	A	IL	A	A	A	A	A																	
Ferric Chloride	C	C	C	C	C	C	B	C	A	B	C	C	IL	A																	
Formaldehyde	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Formic Acid	IL	C	B	B	A	A	A	A	C	B	C	C	B	B																	
Freon, Wet	B	B	B	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL	IL	IL																	
Freon, Dry	B	B	A	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL	IL	IL																	
Furfural	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL	A																	
Gasoline, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Glucose	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Hydrochloric Acid (Aerated)	C	C	C	C	C	C	A	B	C	B	C	C	C	C																	
Hydrochloric Acid (Air Free)	C	C	C	C	C	C	A	B	C	B	C	C	C	C																	
Hydrofluoric Acid (Aerated)	B	C	C	B	B	B	A	A	A	B	B	C	C	C																	
Hydrofluoric Acid (Air Free)	A	C	C	B	C	A	A	A	A	B	C	C	C	C																	
Hydrogen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Hydrogen Peroxide	IL	A	A	A	C	A	B	B	A	IL	B	B	IL	IL																	
Hydrogen Sulfide, Liquid	C	C	A	A	C	C	A	A	B	A	A	C	C	IL																	
Magnesium Hydroxide	A	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Mercury	A	A	A	A	B	C	B	A	A	A	A	A	A	A																	
Methanol	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Methyl Ethyl Ketone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Milk	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C																	
Natural Gas	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Nitric Acid	C	C	A	B	C	C	B	A	A	A	C	C	C	B																	
Oleic Acid	C	C	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	IL																	
Oxalic Acid	C	C	B	B	B	B	A	A	A	B	B	B	B	IL																	
Oxygen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Petroleum Oils, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A																	
Phosphoric Acid	C	C	A	A	C	C	A	A	B	A	G	C	IL	IL																	
Phosphoric Acid (Aerated)	C	C	A	A	C	C	A	A	B	A	G	C	IL	IL																	
Phosphoric Acid (Air Free)	C	C	A	A	C	B	A	A	B	A	G	C	IL	IL																	
Phosphoric Acid Vapors	C	C	B	B	C	C	A	IL	A	B	C	C	C	IL																	
Picric Acid	C	C	A	A	C	C	A	A	IL	IL	B	B	IL	IL																	
Potassium Chloride	B	B	A	A	B	B	A	A	A	IL	IL	C	C	IL																	
Potassium Hydroxide	B	B	A	A	B	A	A	A	A	IL	B	B	IL	IL																	
Pro																															

Code: A — Can be used C — Should not be used
B — Proceed with caution IL — Information lacking

Como se indica en la anterior figura 31, se tienen tres tipos de agua. Agua potable, agua de mar, agua destilada, de las cuales para la única aplicación que sería viable utilizar el acero al carbono sería para agua destilada debido a que la corrosión sería inferior, por lo tanto el material actual no sería una buena opción.

1.3 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN EN EL PROTOTIPO 1.

Para la determinación de las pérdidas por fricción, se parte de la búsqueda de la rugosidad específica (ϵ) del material del cual se encuentra fabricado la válvula 1. Por tal razón la figura 32, indica que, para un acero comercial, se tiene un valor de rugosidad específica (ϵ) correspondiente a 0,045 mm

Figura 32. Rugosidad en materiales

Material	Rugosidad ϵ	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

Fuente: CENGEL, Yunus y CIMBALA, Jhon. Mecánica de fluidos fundamentos y aplicaciones.: definición, gráfica descriptiva, Relación RTT con sistema y volumen de control. [Imagen]. México 2006, [Consultado: 2020].

Por lo tanto y conociendo el valor de la rugosidad, se parte hacia un proceso de determinación del numero de Reynold por medio de la ecuación (1), y de esta manera poder determinar el valor del coeficiente de fricción para cada una de las vías. Para la determinación del coeficiente de fricción se utiliza la ecuación de colebrook (2).

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log\left(\frac{\varepsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{Re\sqrt{f}}\right) \quad (2)$$

De tal manera que para la vía 1 y 2 se tiene:

$$Re = \frac{\rho \cdot V_{prom} \cdot D}{\mu} \quad (1)$$

Vía 1

La tabla 5 indica un valor de Re de 97261,12 correspondiente a un valor donde el flujo es totalmente desarrollado (Turbulento), , debido que $Re \geq 4000$. Por lo tanto, se puede aplicar la ecuación (2) y lograr determinar el valor del coeficiente de fricción f que correspondió a 0,04.

Tabla 5. Determinación del coeficiente de fricción de la vía 1

$\rho@20^{\circ}C = 998kg/m^3$	Re	97261,12
$D = 6 \cdot 10^{-3}m$	f	0,04
$\mu = 959 \cdot 10^{-6} Pa \cdot s$		

- **Vía 2**

De igual manera que la trayectoria 1, se logra determinar el valor de Re , que como lo indica la tabla 6 tiene un valor de 79577.28 correspondiente a un $Re \geq 4000$ por tal razón el flujo es igualmente turbulento. Seguido a esto se determina el factor de fricción el cual tiene un valor de 0,034.

Tabla 6. Determinación del coeficiente de fricción de la vía 1

$\rho @ 20^{\circ}C = 998 kg/m^3$	Re	79577.28
$D = 16 \cdot 10^{-3} m$	f	0,034
$\mu = 959 \cdot 10^{-6} Pa \cdot s$		

La trayectoria 2 como lo indica la tabla 6, cuenta con un factor de fricción el cual es 15 % menor que el factor de fricción de la trayectoria 1.

1.4 DETERMINACIÓN DE PÉRDIDAS SECUNDARIAS PRODUCIDAS POR LA VÁLVULA

La siguiente curva se elabora en base a la fundamentación teórica de la ecuación de energía de Bernoulli, donde se sabe que:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 + H_B = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_L + h_{ra} \quad (10)$$

- Donde: $\frac{V_1^2}{2g} = \frac{V_2^2}{2g}$ Son iguales ya que el diámetro de la tubería donde se instalaron los

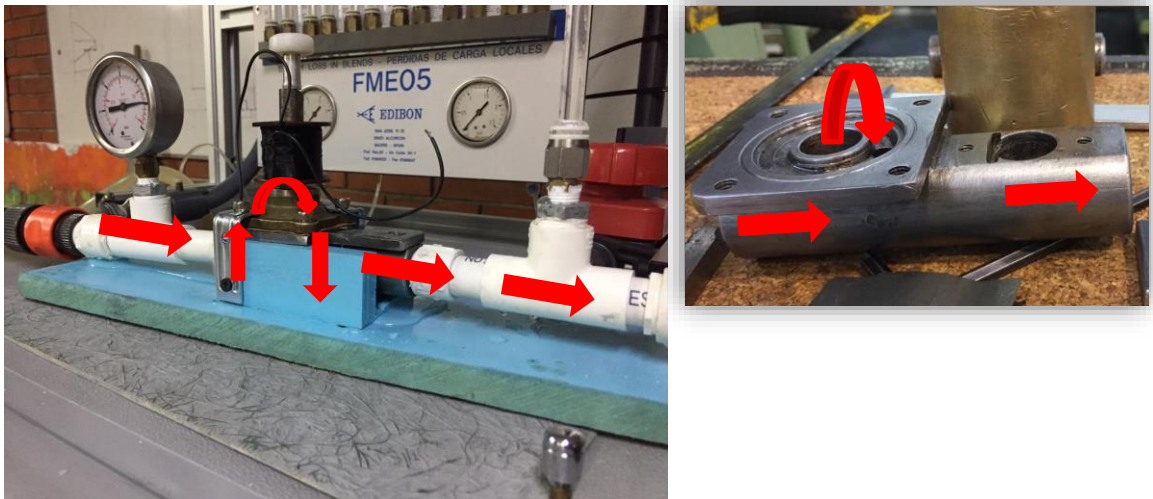
manómetros para las mediciones de presión de la entrada y la salida de la válvula son iguales.

- $Z_1 = Z_2$ ya que se encuentran al mismo nivel de referencia por tal razón estos valores se simplifican.
- H_B es igual a cero ya que no se tiene bomba entre los puntos de medición de presión, y h_L es igual a cero ya que entre el punto de entrada y salida no se consideran las pérdidas por fricción.

Teniendo como resultado:

$$\frac{P_1}{\gamma} = h_{ra} = K \frac{V_2^2}{2g}$$

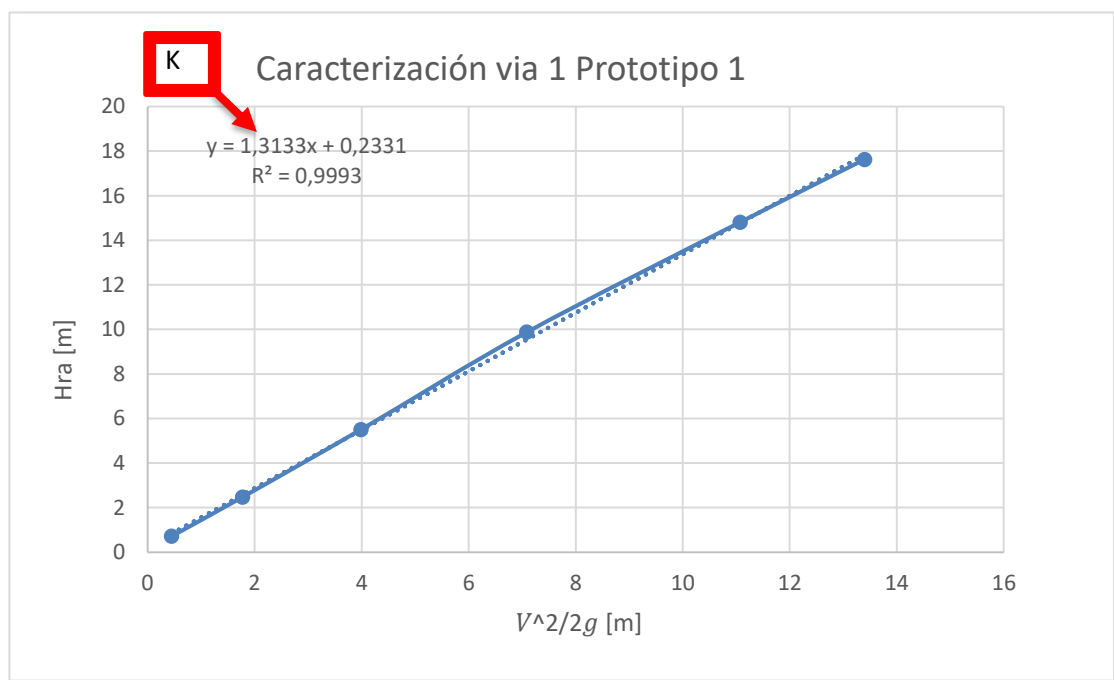
Figura 33. Trayectoria 1 (agua acueducto)



Como indica la figura 33, la trayectoria 1 se compone por dos cambios de dirección y un cambio de sección, ya que son necesarios para que el diafragma cumpla su

función. El primer cambio de sección ocurre cuando el fluido entra a la recámara donde el diafragma controla el flujo, es allí donde el fluido ingresa por un diámetro de 16 mm y luego sale por uno de 6 mm.

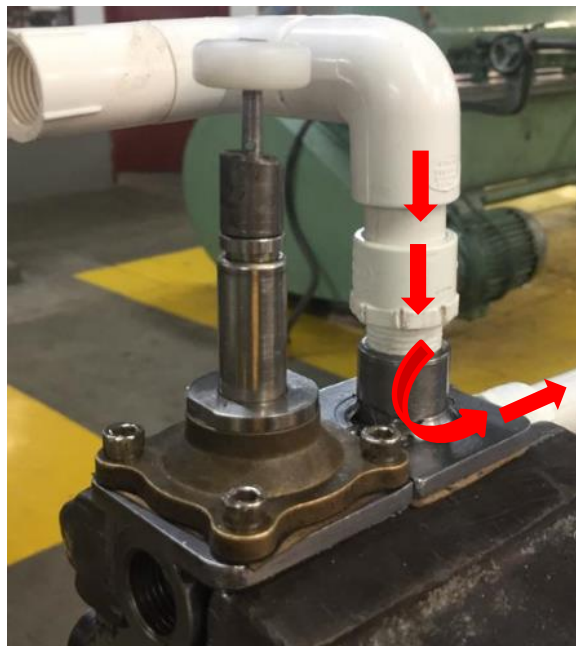
Figura 34. Grafico para determinación del K del elemento en la vía 1.



La figura 34 ilustra las características energéticas de la vía 1 del prototipo inicial, de forma que se determina el valor de la pendiente de línea, donde está pendiente equivale al K de pérdidas generada por ese conducto, en este caso el conducto genera un coeficiente de pérdidas K equivalente a 1,31.

La trayectoria mostrada en la figura 35 hace referencia a la trayectoria 2 proveniente el tanque de recolección de las aguas residuales, esta trayectoria tiene como característica un cheque que controla el flujo proveniente del tanque de recolección. Esta vía cuenta con una sección uniforme la cual solo tiene un cambio de dirección.

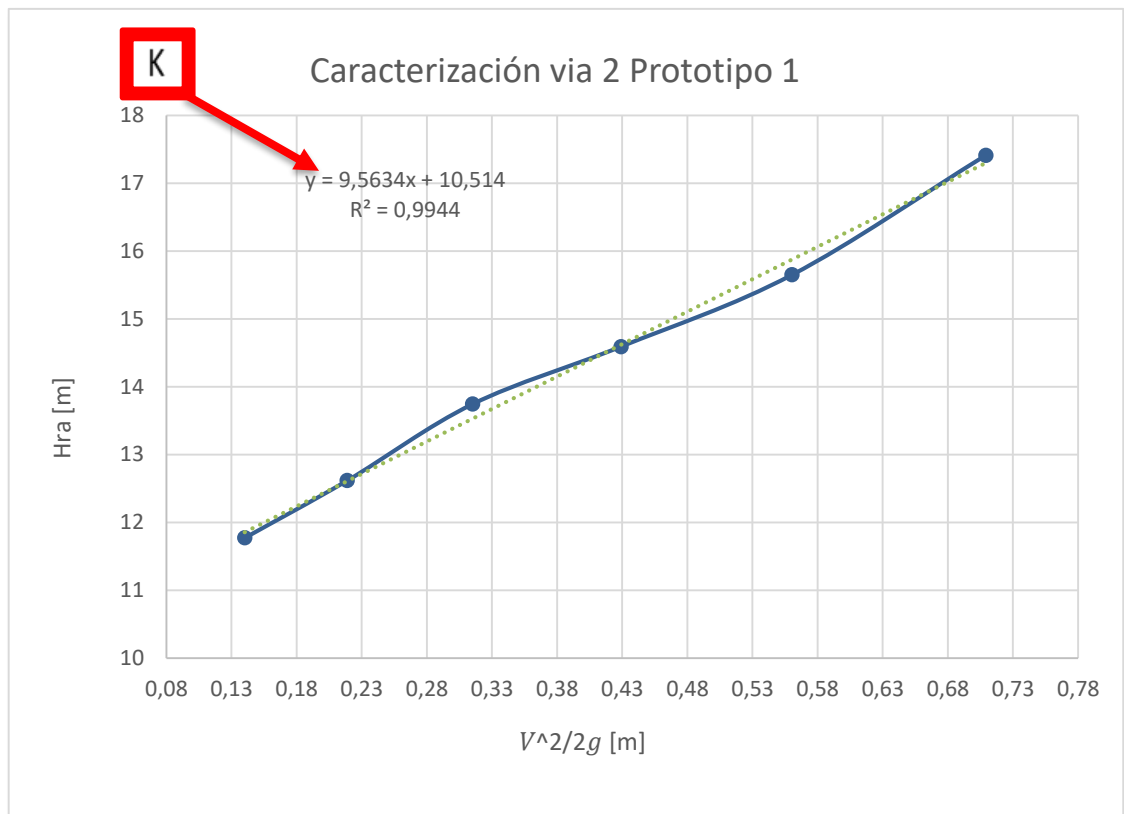
Figura 35. Trayectoria 2 (agua tanque de reserva)



De igual forma igual forma que en la trayectoria 1, se evidencia que el comportamiento de la vía 2 del prototipo 1, tiene una tendencia lineal de pendiente positiva como se indica en la figura 36, sin embargo, esta trayectoria genera un

coeficiente de K con un valor de 9,5, teniendo un valor mayor que la trayectoria 1 ya que su caudal admitido es aproximadamente el doble que el de la trayectoria 1.

Figura 36. Grafico para determinación del K del elemento en la vía 2



2. REDISEÑO DEL PROTOTIPO 1 Y FABRICACIÓN DEL PROTOTIPO 2.

Para el rediseño del prototipo 1 se parte del análisis de las características operativas de la válvula, donde se tienen valores físicos de operación referentes a condiciones iniciales tales como:

- $Q = 70 \text{ GPM.}$
- $Tope = 20^\circ\text{C}$
- $PMáx = 3,5 \text{ Mpa}$

Los parámetros previamente definidos son asignados a partir de las especificaciones técnicas de la tubería, a la cual estaría conectado el nuevo prototipo, por tal razón la tabla 7 indica las características operativas de la tubería.

Tabla 7. Ficha técnica del tubo PVC

Especificaciones Técnicas tubería PVC ½ [in]	
Diámetro nominal [in]	1/2
Diámetro nominal [mm]	21
Diámetro interior promedio [in]	16,6
Diámetro exterior promedio [mm]	21,34
Espesor de pared mínimo [mm]	1,57
Material	Poli Cloruro de Vinilo (PVC).
Peso [Kg/m]	0,2
Presión de trabajo a 23 °C [Mpa]	2,21
Longitud [m]	6
Color	Blanco

Seguidamente se evalúan los parámetros de aceptación requeridos para el diseño del nuevo prototipo, por lo tanto, se debe cumplir con:

- **Material.** Debe ser un material compatible con el agua dulce, además de garantizar las especificaciones mínimas de operación.
- **Dimensiones.** El nuevo prototipo debe cumplir con dimensiones inferiores o iguales a 110 mm de largo, 110 mm de ancho, 70 mm de alto.
- **Características operativas.** El nuevo prototipo debe tener especificaciones técnicas con mejores cualidades que el prototipo inicial (véase el capítulo 1), como, por ejemplo: coeficiente de flujo [CV] mayor, pérdidas generadas por el elemento.
- **Costos.** El costo del prototipo debe ser inferior a 300.000 COP

Conociendo estos criterios, se procede a definir una estrategia para el diseño conceptual, donde se define un valor para el diámetro de la válvula, que sea mayor o igual que el diámetro del prototipo 1 ($\geq \Phi$ Válvula 1). Además de definir una trayectoria en la cual no se presenten cambios de dirección y en lo posible no se presenten cambios de sección. Para cumplir con este objetivo se diseña una válvula con dimensiones exteriores dentro del rango de los criterios de aceptación, además, de cumplir con las dimensiones estandarizadas de los accesorios en sus puntos de conexión. En este caso, se habla de racor PVC de ½ in como lo indica la tabla 8.

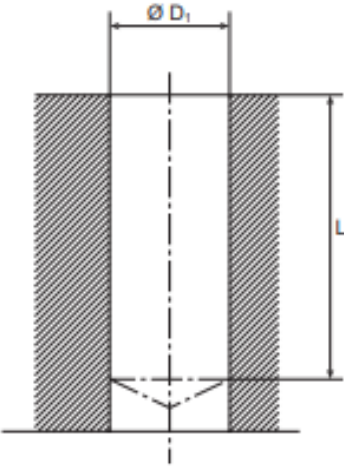
Tabla 8. Ficha técnica adaptador macho ½.

Adaptador macho presión PVC 1/2' [in]	
Diámetro nominal [in]	1/2
Diámetro nominal [mm]	21
Material	Poli Cloruro de Vinilo (PVC).
Longitud [mm]	16
Presión de trabajo a 23 °C [Mpa]	3
Tipo de rosca [NPT] [in]	1/2

Conociendo qué, en las especificaciones de la rosca para este elemento que acopla la válvula a la tubería es ½ in NPT, se utiliza la figura 37 para determinar el diámetro de las perforaciones en los puntos de conexión del prototipo 2.

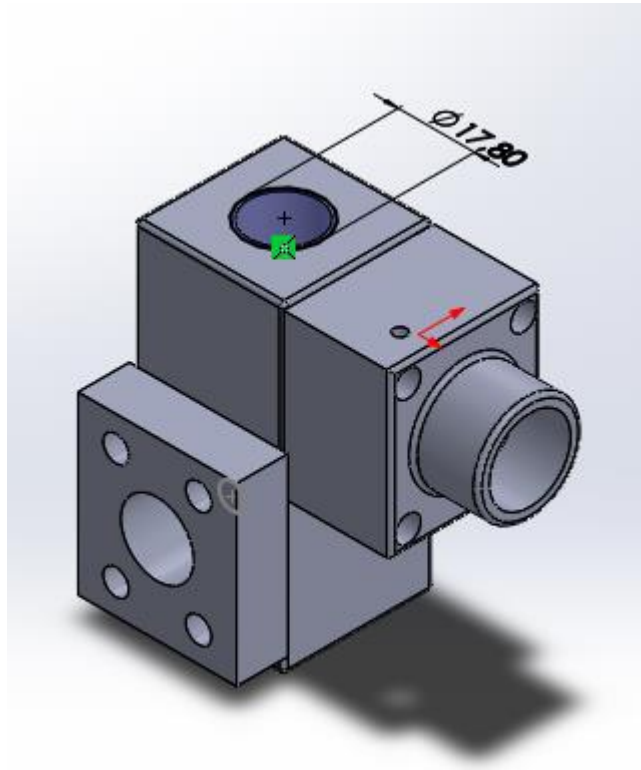
En la figura 37 se indica que para el elemento a conectar se debe hacer una perforación de 17,8 mm y 22,8 mm de profundidad mínima.

Figura 37. Diámetro de perforación para roscas

TALADRADO CILÍNDRICO CYLINDRICAL DRILLING FORAGE CYLINDRIQUE				
				
Rc (BSPT)				
	ø d ₁	p	D ₁	L ₁ min.
Rc 1/16		28	6,30	10,10
Rc 1/8		28	8,30	10,10
Rc 1/4		19	11,00	15,00
Rc 3/8		19	14,50	15,40
Rc 1/2		14	18,10	20,50
Rc 3/4		14	23,50	21,80
Rc 1		11	29,60	26,00
Rc 1 - 1/4		11	38,10	28,30
Rc 1 - 1/2		11	44,00	28,30
Rc 2		11	55,60	32,70
NPT				
	ø d ₁	p	D ₁	L ₁ min.
1/16 NPT		27	6,20	12,00
1/8 NPT		27	8,50	12,00
1/4 NPT		18	11,00	17,50
3/8 NPT		18	14,50	17,60
1/2 NPT		14	17,80	22,80
3/4 NPT		14	23,00	23,00
1 NPT		11,5	29,00	27,40

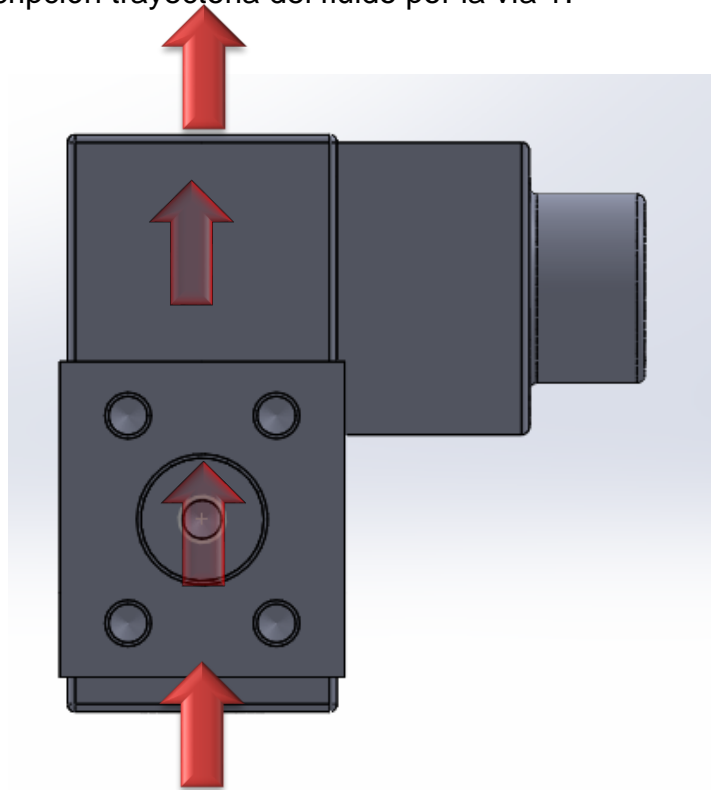
Siendo conocidos los valores de los diámetros, se procede a ajustar el diseño CAD con los valores iniciales que cumplen con los criterios de aceptación preestablecidos como lo indica la figura 38.

Figura 38. Perforación para conexión de tubería



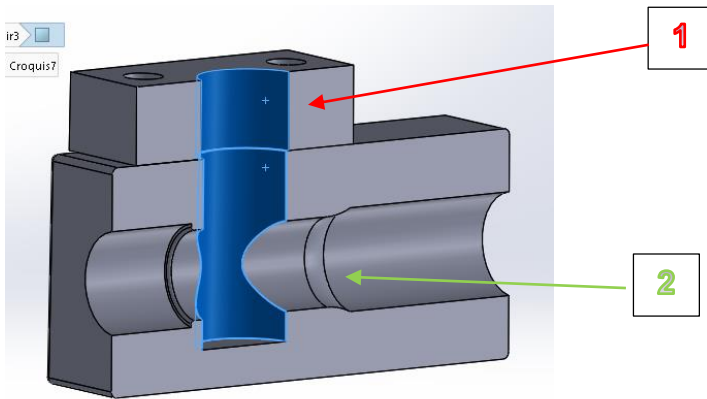
Siendo el diseño CAD del prototipo 2, un elemento que cumple con algunos de los criterios de aceptación planteados previamente, se procede a diseñar el obturador, el cual cumpliría con la función de impedir el flujo proveniente del acueducto por la vía principal como lo indica la figura (38)

Figura 39. Descripción trayectoria del fluido por la vía 1.



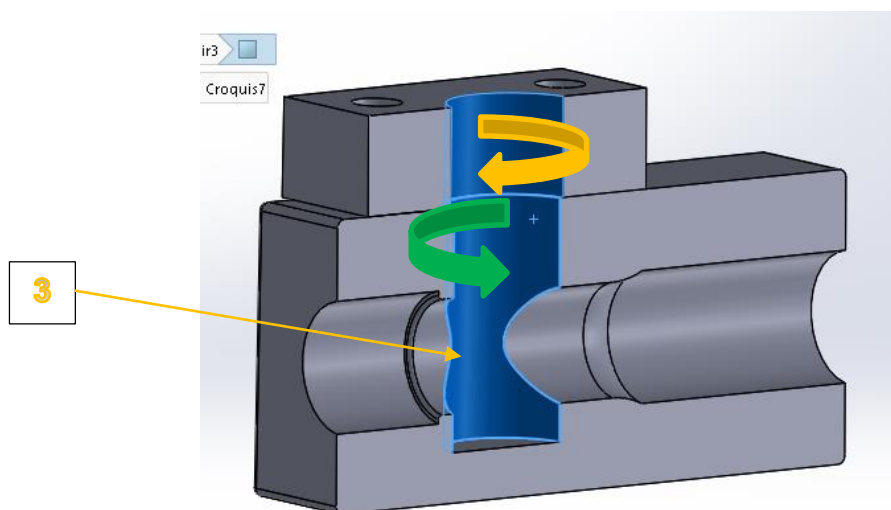
El obturador de cierre o elemento controlador de flujo, se posicionaría entre los cuerpos 1 y 2, donde el cuerpo 1 (Rojo) cumple la función de ser un elemento donde se alojará la empaquetadura para evitar las fugas del fluido y el cuerpo 2 (Verde), pertenece al cuerpo de la válvula, sin embargo, este elemento cuenta con un agujero concéntrico al agujero del cuerpo de la válvula como se ve en la figura (39).

Figura 40. Descripción posición del obturador.



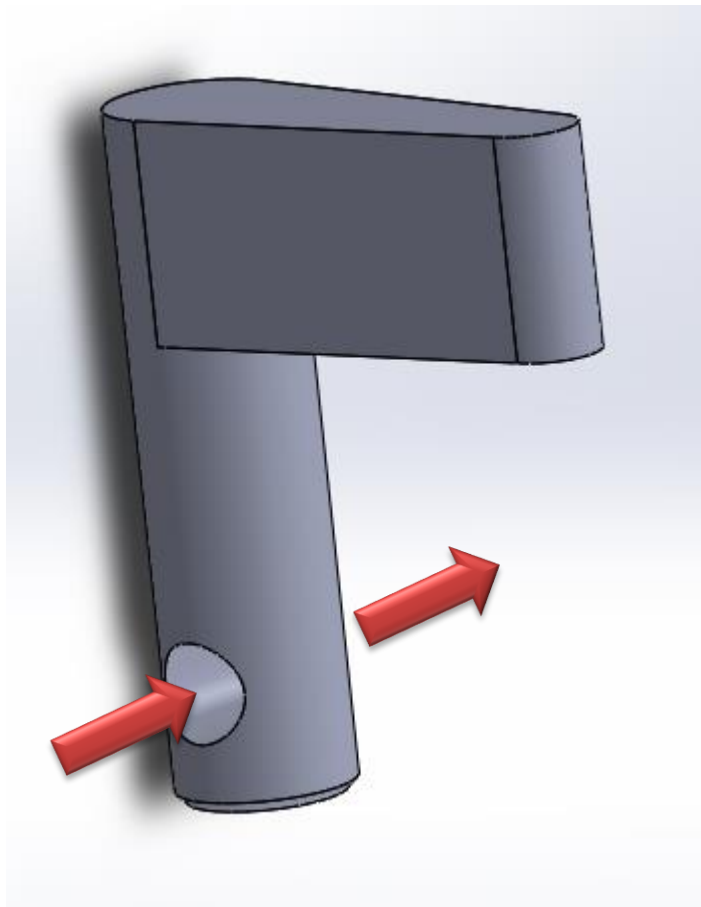
Conociendo la posición del obturador se propone una alternativa funcional de operación para que este cumpla con la función de elemento de control de flujo. Esta alternativa consiste en el posicionamiento del obturador en agujero 3 (Amarillo), y hacer que este gire sobre el eje del agujero como se indica en la figura (41), donde cumpla con las dos alternativas de giro, y en una de las posiciones que este adopte, sea la encargada de controlar el flujo.

Figura 41. Posiciones del obturador



El elemento que controla el flujo, consiste en un cilindro que se posiciona en el agujero 3. Este elemento tiene como característica un agujero perpendicular a la superficie cilíndrica la cual cumpliría la función de permitir el flujo en la trayectoria 1 de la vía 2 como lo describe la figura (42)

Figura 42.Elemento controlador de flujo

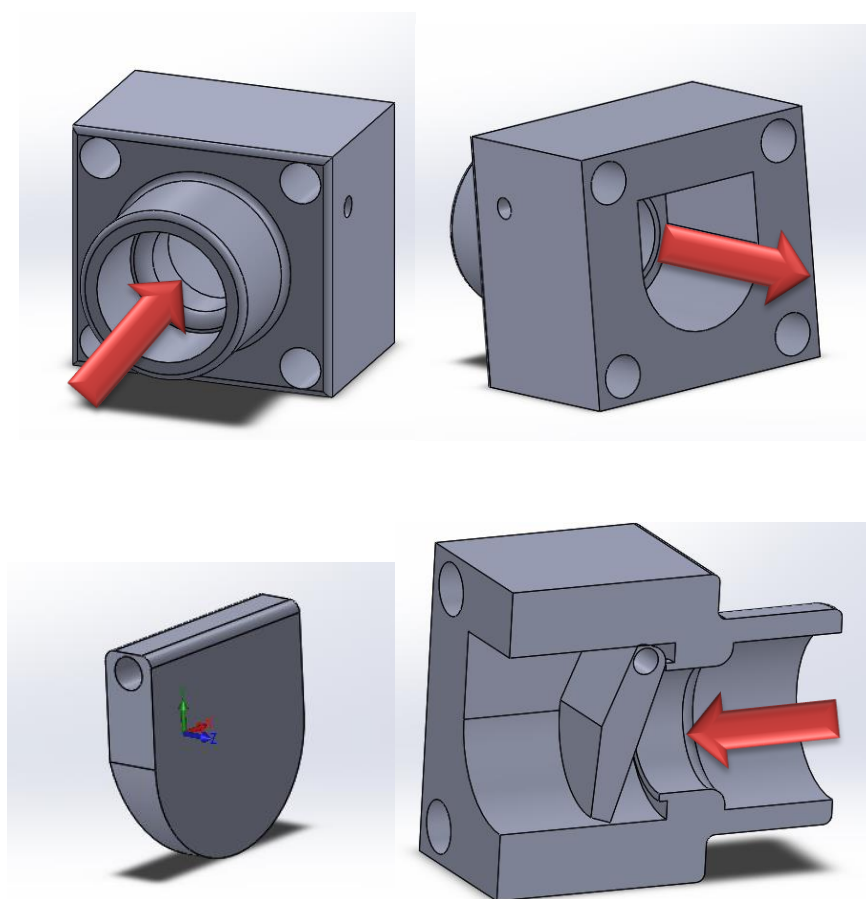


Una vez que se conocen los diámetros respectivos de cada elemento se procede a diseñar el elemento de control de flujo de la trayectoria 2. Este elemento es un cheque el cual impide que el flujo de agua de la trayectoria principal se dirija a el depósito de agua de la trayectoria secundaria. Una vez el flujo de la trayectoria 1 se

haya escaseado, el cheque permitirá el paso del agua proveniente el depósito de agua lluvia recolectada.

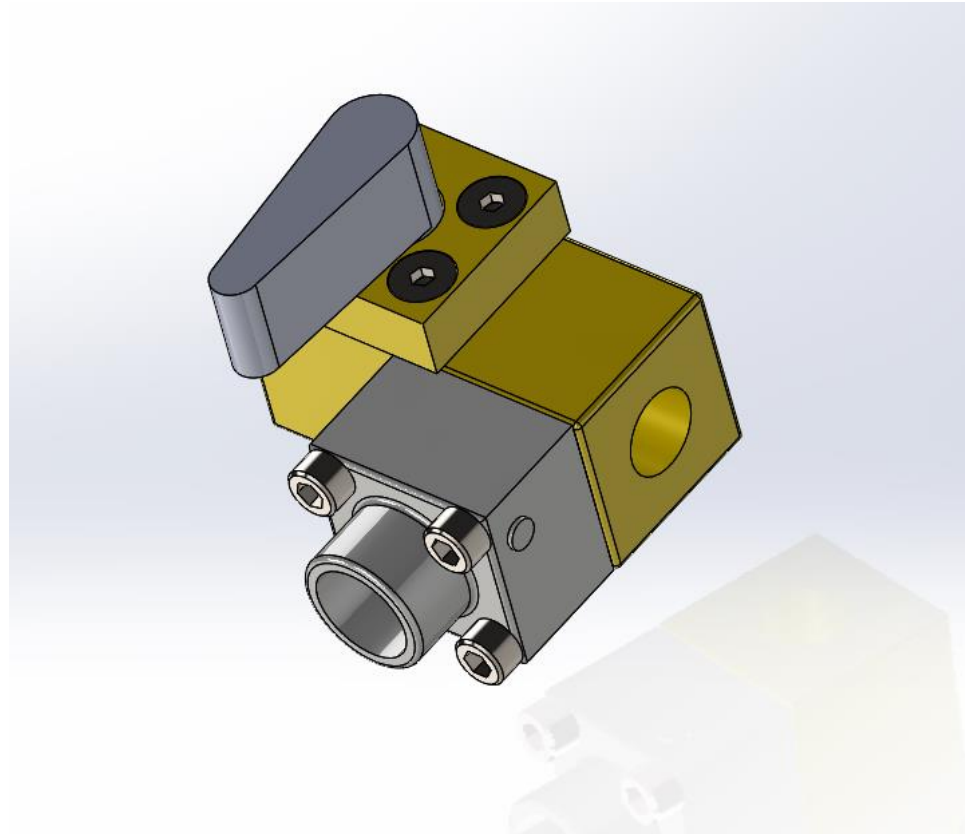
El cheque se diseña de tal forma que la obstrucción que genere al flujo proveniente del depósito de aguas lluvias sea la menor posible como se indica en la figura 43.

Figura 43. Cheque trayectoria 2



Con el controlador de flujo de la trayectoria 2 diseñado, se tiene la válvula en su totalidad, siendo esta mostrada en la figura 44, para dar inicio al análisis del comportamiento del fluido en esta.

Figura 44. Diseño final del prototipo de válvula 2



Ya que se tiene la válvula diseñada en su totalidad se procede a la simulación del comportamiento del fluido dentro de las dos trayectorias del prototipo.

La trayectoria inicial cuenta con las características mostradas en las figuras 45 y 46, donde indican sus valores máximos de velocidad.

Figura 45. Simulación trayectoria 1

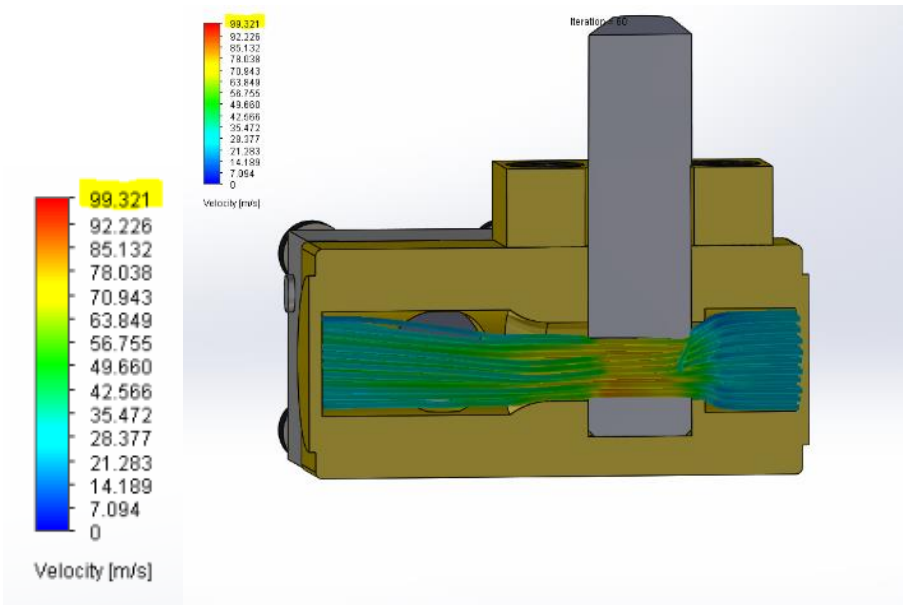
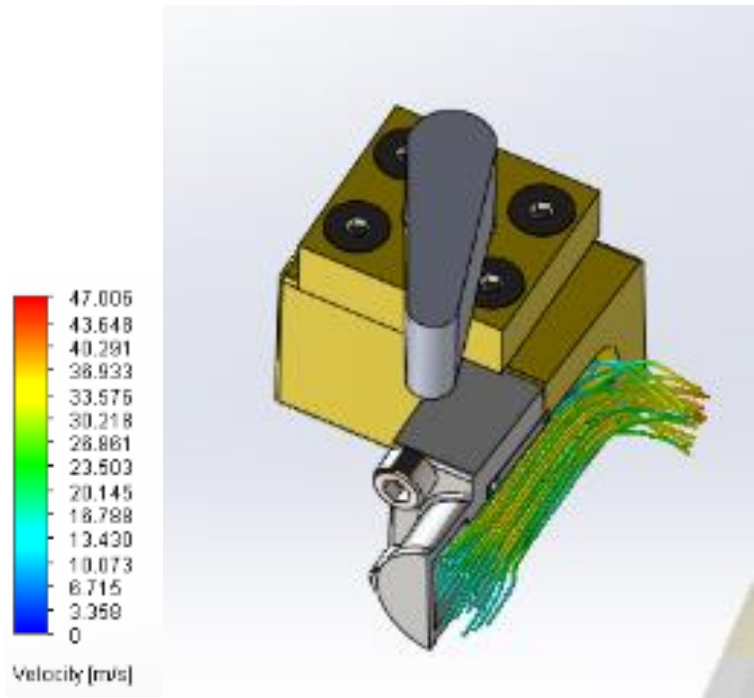


Figura 46. Simulación trayectoria 2



Como se muestra en la figura 45 la trayectoria 1 tiene una velocidad máxima de 99,321 [m/s], y la figura 46 indica que la velocidad del fluido en la trayectoria 2 es de 47,605 [m/s].

Ya que se conocen los valores de la velocidad para el diseño inicial del prototipo 2 en sus dos trayectorias, se procede a utilizar estos valores de velocidad para determinar el coeficiente de flujo característico en cada una de estas y de esta manera determinar si el elemento cumple con los criterios de aceptación.

Inicialmente para determinar el coeficiente de flujo de éste se determinarán las presiones a la entrada y la salida del elemento con la velocidad y el área.

$$P = \frac{F}{A} \quad (10)$$

Donde la F será determinada como:

$$F = \dot{m} \cdot V \quad (11)$$

Y el flujo másico será:

$$\dot{m} = Q \cdot \rho \quad (12)$$

Por tal razón se tiene que:

$$P_1 = \frac{V_1 \cdot \dot{m}}{A_1} \quad (13)$$

Y para la segunda trayectoria:

$$P_2 = \frac{V_2 \cdot \dot{m}}{A_2} \quad (14)$$

De esta manera se obtienen los valores indicados en la tabla (9).

Tabla 9. Datos calculados para el diseño CAD prototipo 2.

Q [m³/s]	V[m/s]	Densidad [kg/m³]	\dot{m}[Kg/s]	D[m]	A[m]
5,E-03	47,01	998,00	4,49	1,78,E-02	2,49,E-04
5,E-03	99,32	998,00	4,49	1,20,E-02	1,13,E-04
Pint [Pa]	Pout [Pa]	Pint [psia]	Pout [psia]	Cv1 [$\frac{Gpm}{Psi}$]	Cv2 [$\frac{Gpm}{Psi}$]
848315,16	3943953,31	123,01	571,87	3,02	6,85

Basado en la información anterior se procede a evaluar, si el elemento cumple con las características esperadas, las cuales deben ser superiores a las del prototipo de válvula.

Con respecto al prototipo de válvula 1, se tiene que el Cv en [Gpm] en ambas vías tiene un valor similar, sin embargo, existe una diferencia entre las presiones admitidas de operación para cada uno de los prototipos, por tal razón, el prototipo 2 cuenta con características operativas de rangos de presión con valores muy superiores a la válvula 1.

El prototipo de válvula 1 en su trayectoria 1, cuenta con un valor de presión a la entrada y a la salida de 39,7 Psia y 14,7 Psia respectivamente, mientras que el prototipo 2 cuenta con valores a la entrada y a la salida de 123,01 Psia y 14,7 Psia respectivamente; siendo esta una diferencia de aproximadamente 3 veces la

presión de operación con respecto al prototipo 1 en la vía 1. Además, el coeficiente de flujo para la vía 1 del prototipo 1 tiene un valor de 1,45 *Gpm*, mientras que en la simulación esta vía presenta un coeficiente de flujo de 3,02 *Gpm*.

Para la vía 2 se tiene que la presión admisible a la entrada y salida es de 571,87 Psia y 14,7 Psia, mientras que para la vía 2 del prototipo 1 se tiene 22,2 Psia y 14,7 Psia, y el coeficiente de flujo para la vía 2 del prototipo 2 es de 6,85 *Gpm* y para la vía 2 del prototipo 1 es de 3,86 *Gpm*.

Ya que se tiene que la válvula admite un mayor flujo, y que al disminuir la presión a la entrada y la salida se puede obtener un mayor coeficiente de flujo, se procede a la fabricación y prueba del prototipo 2. Iniciando la fabricación con los parámetros iniciales de diseño, y de esta manera poder determinar si el prototipo cumple con las características diseñadas.

Conociendo las características dimensionales del prototipo se procede a seleccionar el material para esta aplicación, ya que el prototipo inicial no cumplía con un material apropiado para la aplicación de la válvula.

Basados en la figura (47) se selecciona el material para la construcción del prototipo.

Figura 47. Selección de material.

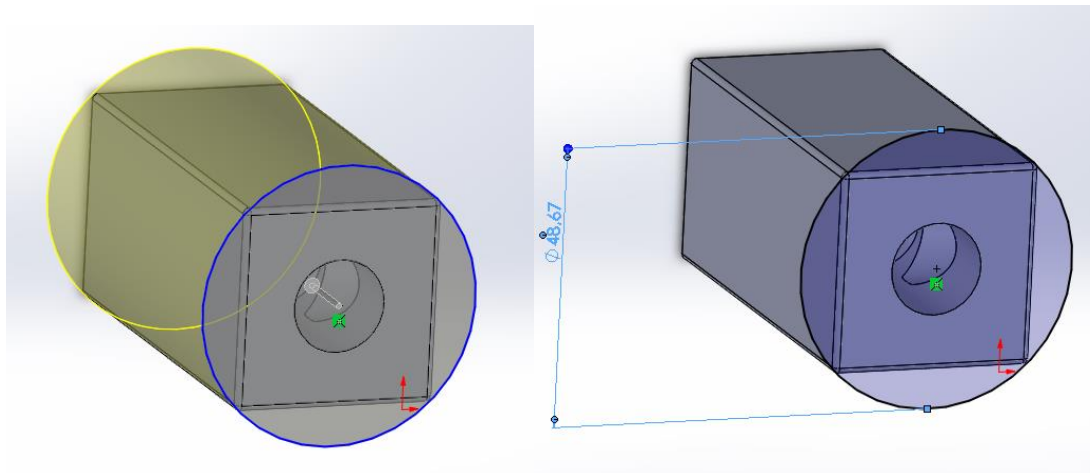
	Carbon Steel	Cast Iron	302 or 304 Stainless Steel	316 Stainless Steel	Bronze	Monel 400	Hastelloy B	Hastelloy C	Durimet 20	Titanium	Alloy 6 (co-cr)	416 Stainless Steel	440 Stainless Steel	17-4 Ph Hard Stainless Steel
Acetaldehyde	A	A	A	A	A	IL	A	A	IL	IL	A	A	A	A
Acetic Acid, Air Free	C	C	B	B	B	A	A	A	A	A	C	C	B	
Acetic Acid, Aerated	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	B	
Acetic Acid Vapors	C	C	A	B	B	IL	A	B	A	V	V	B		
Acetone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Acetylene	A	A	A	IL	A	A	A	IL	A	A	A	A	A	
Alcohols	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Aluminum Sulfate	C	C	A	B	B	A	A	A	IL	C	C	IL		
Ammonia	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	IL		
Ammonium Chloride	C	C	B	B	B	A	A	A	B	C	C	IL		
Ammonium Nitrate	A	C	A	C	C	A	A	A	A	C	B	IL		
Ammonium Phosphate (Mono-Basic)	C	C	A	B	B	A	A	B	A	B	B	IL		
Ammonium Sulfate	C	C	B	A	B	A	A	A	A	C	C	IL		
Ammonium Sulfite	C	C	A	C	C	IL	A	A	A	B	B	IL		
Aniline	C	C	A	C	B	A	A	A	A	C	C	IL		
Asphalt	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	A	
Beer	B	B	A	A	B	A	A	A	A	A	B	B	A	
Benzene (Benzol)	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Benzoic Acid	C	C	A	A	A	IL	A	A	A	IL	A	A	A	
Boric Acid	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL	
Butane	A	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	
Calcium Chloride (Alkaline)	B	B	C	B	C	A	A	A	A	IL	C	C	IL	
Calcium Hypochlorite	C	C	B	B	B	C	A	A	A	IL	C	C	IL	
Carbolic Acid	B	B	A	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL		
Carbon Dioxide, Dry	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Carbon Dioxide, Wet	C	C	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Carbon Disulfide	A	A	A	C	B	A	A	A	A	B	B	IL		
Carbon Tetrachloride	B	B	B	B	A	B	A	A	IL	C	A	IL		
Carbonic Acid	C	C	B	B	A	A	A	A	IL	IL	A	A	A	
Chlorine, Gas (Dry)	A	A	B	B	A	A	A	A	C	B	C	C	C	
Chlorine, Gas (Wet)	C	C	C	C	C	C	B	C	B	C	C	C	C	
Chlorine, Liquid	C	C	C	C	C	C	A	B	C	B	C	C	C	
Chromic Acid	C	C	C	B	C	A	C	A	B	C	C	C	C	
Citric Acid	IL	C	B	A	B	A	A	A	IL	B	B	B		
Coke Oven Gas	A	A	A	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	
Copper Sulfate	C	C	B	B	B	C	IL	A	A	IL	A	A	A	
Cottonseed Oil	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Creosote	A	A	A	C	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	
Ethane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Ether	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Ethyl Chloride	C	C	A	A	A	A	A	A	B	B	IL			
Ethylene	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Ethylene Glycol	A	A	A	C	A	IL	IL	A	A	A	A	A	A	
Ferric Chloride	C	C	C	C	C	C	B	C	A	B	C	C	C	
Formaldehyde	B	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Formic Acid	IL	C	B	B	A	A	A	A	C	B	C	C	B	
Freon, Wet	B	B	B	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL		
Freon, Dry	B	B	A	A	A	A	A	A	A	IL	IL	IL		
Furfural	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL		
Gasoline, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Glucose	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Hydrochloric Acid (Aerated)	C	C	C	C	C	A	B	C	B	C	C	C	C	
Hydrochloric Acid (Air Free)	C	C	C	C	C	A	B	C	B	C	C	C	C	
Hydrofluoric Acid (Aerated)	B	C	C	B	C	C	A	A	B	C	B	C	C	
Hydrofluoric Acid (Air Free)	A	C	C	B	C	C	A	A	B	C	IL	C	C	IL
Hydrogen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Hydrogen Peroxide	IL	A	A	A	C	A	B	B	A	IL	B	B	IL	
Hydrogen Sulfide, Liquid	C	C	A	A	C	C	A	A	B	A	A	C	C	IL
Magnesium Hydroxide	A	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	C	A	IL
Mercury	A	A	A	A	C	B	A	A	A	A	A	A	B	
Methanol	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	
Methyl Ethyl Ketone	A	A	A	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	
Milk	C	C	A	A	A	A	A	A	A	A	C	C	C	
Natural Gas	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Nitric Acid	C	C	A	B	C	C	B	A	A	C	C	C	B	
Oleic Acid	C	C	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	IL	
Oxalic Acid	C	C	B	B	B	A	A	A	B	B	B	B	IL	
Oxygen	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Petroleum Oils, Refined	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Phosphoric Acid (Aerated)	C	C	A	A	C	C	A	A	B	A	C	C	IL	
Phosphoric Acid (Air Free)	C	C	A	A	C	B	A	A	A	B	A	C	C	IL
Phosphoric Acid Vapors	C	C	B	B	C	C	A	IL	A	B	C	C	IL	
Picric Acid	C	C	A	A	C	C	A	A	IL	IL	B	B	IL	
Potassium Chloride	B	B	A	B	B	A	A	A	A	IL	C	C	IL	
Potassium Hydroxide	B	B	A	B	A	A	A	A	IL	B	B	IL		
Propane	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Rosin	B	B	A	A	A	A	A	A	IL	A	A	A	A	
Silver Nitrate	C	C	A	A	C	C	A	A	A	B	B	IL		
Sodium Acetate	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Sodium Carbonate	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	A		
Sodium Chloride	C	C	B	B	A	A	A	A	A	A	B	B	B	
Sodium Chloride	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Sodium Hydroxide	A	A	A	C	A	A	A	A	A	B	B	A		
Sodium Hypochlorite	C	C	C	C	C	C	A	B	A	IL	C	C	IL	
Sodium Thiosulfate	C	C	A	C	C	A	A	A	IL	B	B	IL		
Stannous Chloride	B	B	C	A	C	B	A	A	A	IL	C	C	IL	
Stearic Acid	A	C	A	B	B	A	A	A	A	B	B	B	IL	
Sulfate Liquor (Black)	A	A	A	C	A	A	A	A	A	IL	IL	IL		
Sulfur	A	A	A	C	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Sulfur Dioxide, Dry	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	IL		
Sulfur Trioxide, Dry	A	A	A	A	A	B	A	A	A	B	B	IL		
Sulfuric Acid (Aerated)	C	C	C	C	C	A	A	B	B	C	C	C	C	
Sulfuric Acid	C	C	C	C	C	A	A	B	B	C	C	C	C	
Sulfuric Acid (Air Free)	C	C	C	C	B	B	A	A	B	B	C	C	C	
Sulfurous Acid	C	C	B	B	C	A	A	A	A	B	C	C	IL	
Tar	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
Trichloroethylene	B	B	B	A	A	A	A	A	A	B	B	IL		
Turpentine	B	B	A	A	A	B	A	A	A	A	A	A	A	
Water, Boiler Feed	B	C	A	A	C	A	A	A	A	B	A	A	A	
Water, Distilled	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	IL	
Water, Sea	B	B	B	B	A	A	A	A	A	C	C	A		
Whiskey and Wines	C	C	A	A	A	B	A	A	A	A	C	C	IL	
Zinc Chloride	C	C	C	C	C	A	A	A	B	C	C	IL		
Zinc Sulfate	C	C	A	A	B	A	A	A	A	B	B	IL		

Code: A — Can be used
B — Proceed with caution
C — Should not be used
IL — Information lacking

La figura 47, indica que el material que se tiene para la fabricación del prototipo cumple con 2 de 3 aplicaciones.

Por tal razón se selecciona bronce de 2 in de diámetro ya que la válvula tiene una geometría cuadrada, la cual se encuentra contenida en una circunferencia como lo indica la figura (48).

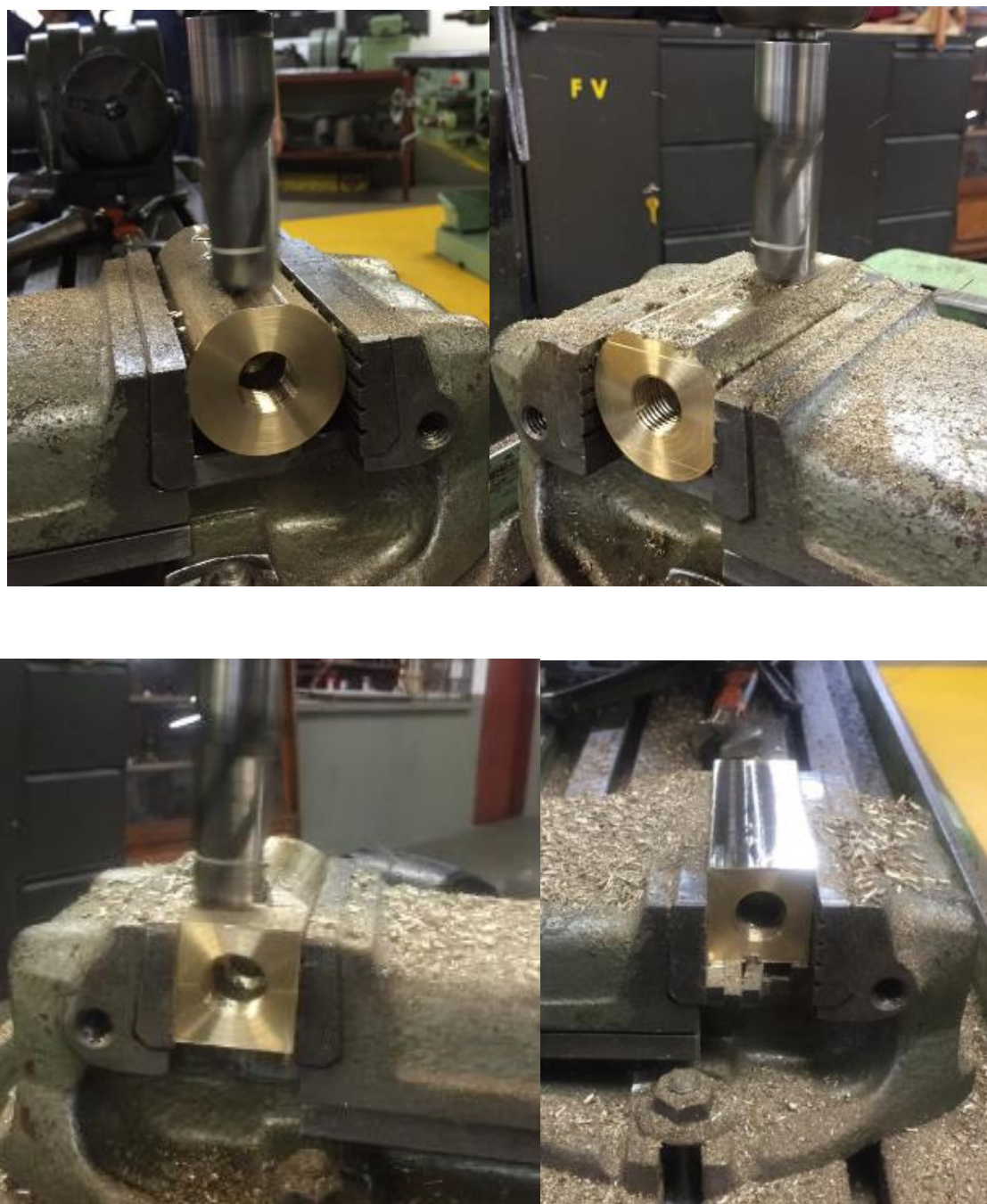
Figura 48. Determinación diámetro de eje para fabricación



La figura 48, indica que el valor mínimo de diámetro de la barra de bronce es de 48,67 [mm]. Por esta razón la barra se estandariza a un valor de 2 [in].

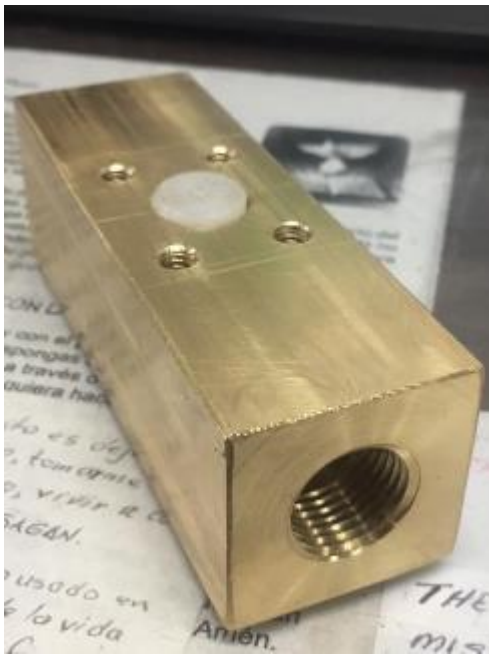
Teniendo el diámetro de la barra se procede al mecanizado y adecuación para las pruebas de laboratorio como lo indica la figura 49.

Figura 49. Fabricación cuerpo de válvula 2



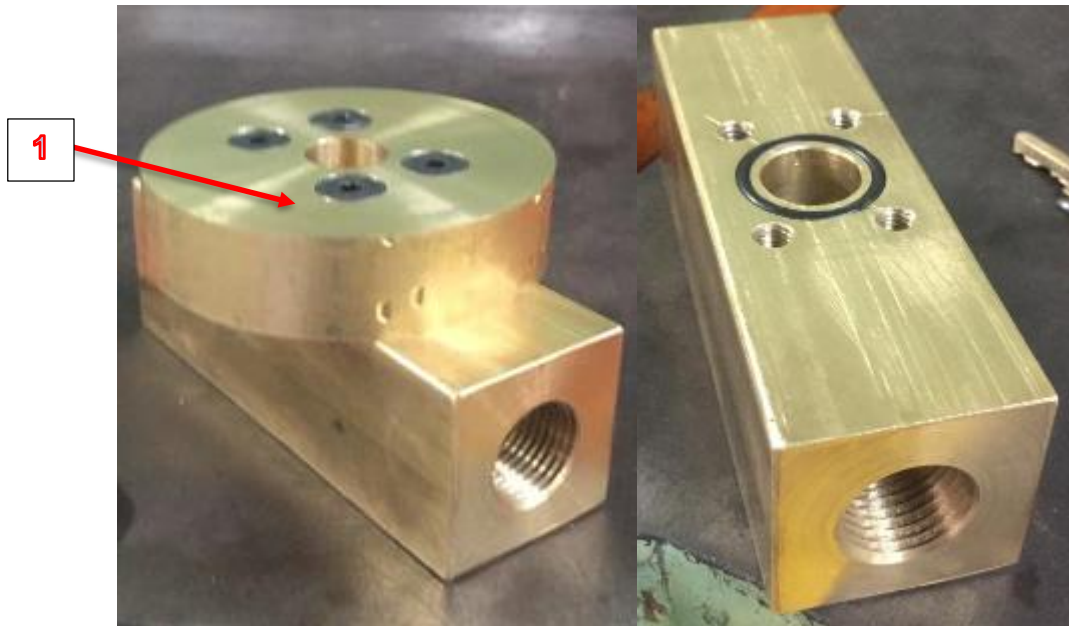
Ya que se tiene el cuerpo de la válvula, la cual cumple con los valores preestablecidos de longitud y ancho, se procede a realizar las perforaciones donde se conectarían los adaptadores machos de $\frac{1}{2}$ que acoplarían la válvula a la tubería, como se muestra en la figura 50.

Figura 50. Rosca para acoplamiento de válvula



Con los agujeros de posicionamiento de la válvula en la tubería, se procede a fabricar el separador que contendrá los sellos para evitar las fugas en los elementos, como se muestra en la figura 51.

Figura 51. Separador porta empaques



Tal como lo indica la figura (51) el elemento 1 es el encargado de sostener el solenoide, además de retener el fluido dentro de la válvula.

Con el cuerpo construido en su totalidad, se procede a construir el elemento que se encargará de controlar el flujo en la vía 2.

Este elemento tiene como característica que una de sus partes, específicamente el elemento que controla el flujo en la vía 2 (cheque), fue obtenido en una impresora 3D Object 24, la cual es apta para el prototipado de diseños en los cuales se desea una aproximación apropiada de estos como se muestra en la figura 52.

Figura 52. Impresora 3D Object 24 utilizada en el proyecto



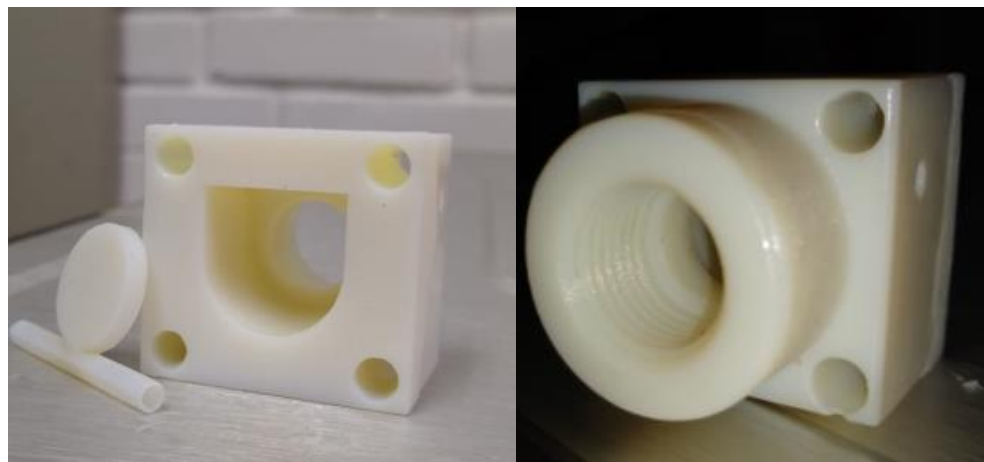
En esta impresora se tiene como característica, que el material a imprimir no es un filamento, sino un material líquido. Para el diseño del elemento de control de la vía 2 se utilizó un material llamado *Head Resistant de Polyjet*, el cual cuenta con las especificaciones técnicas mostradas en la figura 53.

Figura 53.Ficha técnica HR de polyjet.

	ASTM	METRIC	IMPERIAL
Tensile strength	D-638-03	70-80 MPa	10,000-11,500 psi
Elongation at break	D-638-05	10-15%	10-15%
Modulus of elasticity	D-638-04	3,200-3,500 MPa	465,000-510,000 psi
Flexural Strength	D-790-03	110-130 MPa	16,000-19,000 psi
Flexural Modulus	D-790-04	3,100-3,500 MPa	450,000-510,000 psi
HDT, °C @ 0.45 MPa	D-648-06	63-67 °C	145-163 °F
HDT, °C @ 0.45 MPa after thermal post treatment procedure A	D-648-06	75-80 °C	167-176 °F
HDT, °C @ 1.82MPa	D-648-07	55-57 °C	131-135 °F
Izod Notched Impact	D-256-06	14-16 J/m	0.262-0.300 ft lb/inch
Water Absorption, %	D-570-98 24hr	1.2-1.4%	1.2-1.4%
Tg	DMA, E+	62-65 °C	144-149 °F
Shore Hardness D	Scale D	87-88 Scale D	87-88 87-88 Scale D
Rockwell Hardness	Scale M	78-83 Scale M	78-83 87-88 Scale m
Polymerized density	ASTM D792	1.17-1.18 g/cm3	
Ash content	USP281	0.38-0.42%	0.38-0.42

Ya que las especificaciones del material, cumplen con las características operativas, se procede a la impresión de la pieza diseñada, como lo indica la figura 54.

Figura 54. Elemento de control de flujo trayectoria 2

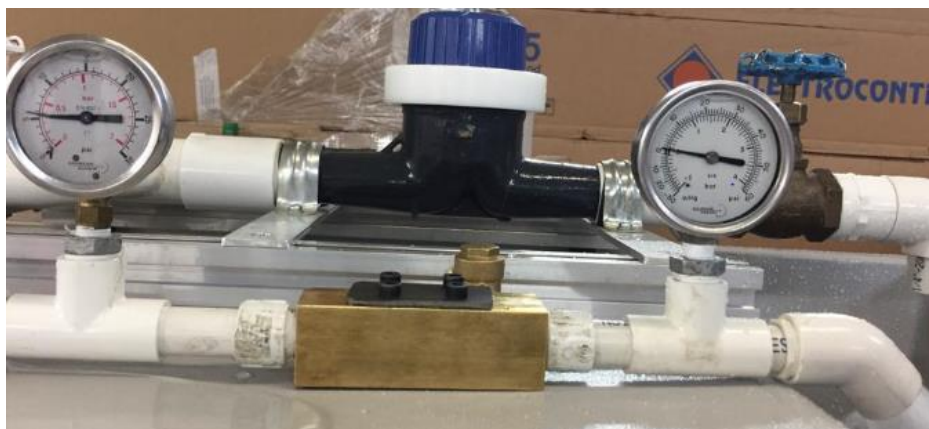


Con todos los elementos de la válvula posicionados como se describe en la figura 55, se procede a realizar las pruebas de laboratorio en el banco de prueba según la figura 56

Figura 55. Prototipo de válvula 2



Figura 56. Prueba en banco trayectoria 1.



En la tabla 10 se describen los mismos parámetros que fueron descritos para la misma vía en la válvula 1, de tal manera que experimentalmente se tiene que el coeficiente de flujo para esta vía tiene un incremento de aproximadamente 4 veces el valor de la vía 1 de la válvula.

Tabla 10. Resultados de prueba trayectoria 1

Q [Lpm]	Q [Gpm]	Pint [Psia]	Pout [Psia]	$\sqrt{\Delta P}$	Cv [$\frac{Gpm}{Psi}$]	Kv [$\frac{m^3}{h*bar}$]
50	13,20	20,19	14,7	2,16	6,09	7,04

Figura 57. Campo de control vía 1

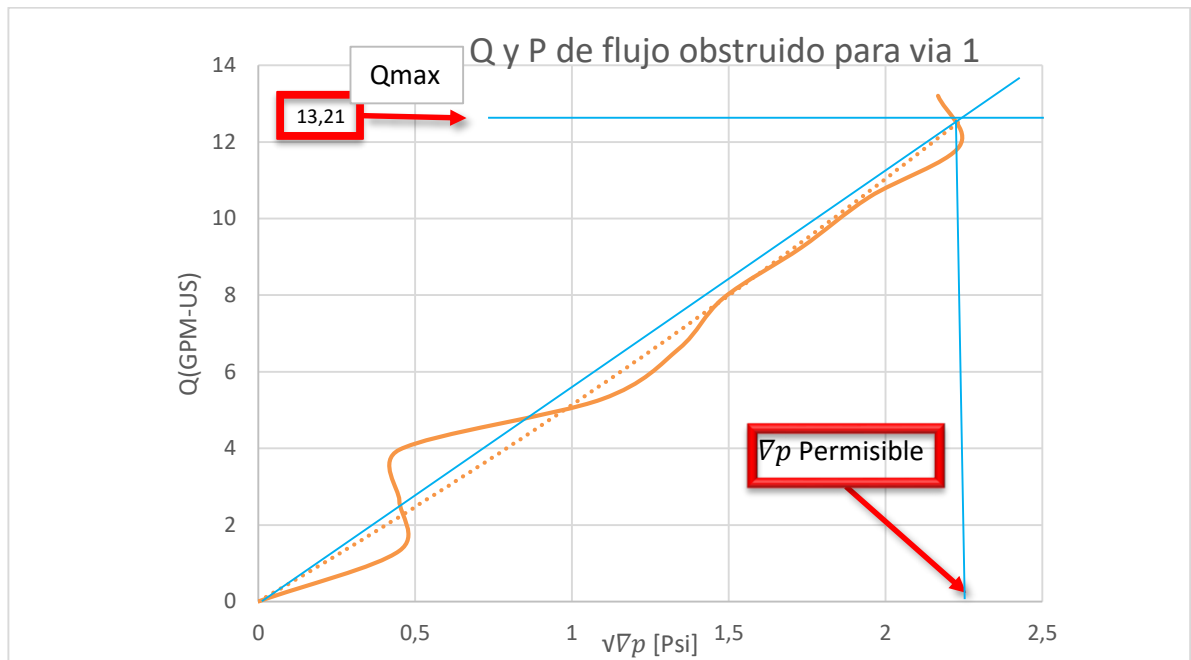
Rangeabilidad/campo de control	2,07
--------------------------------	-------------

De igual forma que en la vía 1 del prototipo 1, se determina la relación entre el mayor y el menor valor del coeficiente de flujo (Kv) en [$m^3/h\ bar$]. Este indica una rangeabilidad acorde a las válvulas de caudal inherente de tipo lineal. Además, indica que este elemento tiene un rango de control que va desde el 2% de la apertura del elemento, hasta un 100%.

Siendo la rangeabilidad un parámetro conocido como indica la figura 57, se procede a determinar los valores de presión o caudal donde se produciría la cavitación.

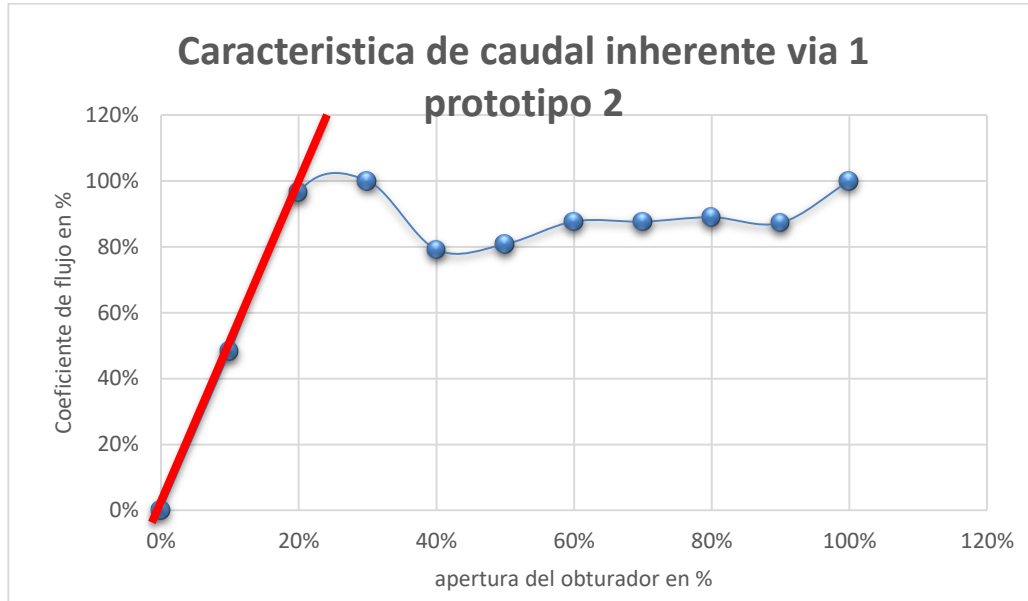
La figura 58, indica que para un punto de operación de 13,2 [Gpm] y un Δp de 2,25 [Psi] Aproximadamente, el prototipo en su vía 1 cavitara.

Figura 58. Características flujo obstruido vía 1.



Continuando con el proceso de caracterización del prototipo 1, se elabora la curva que define la característica de caudal inherente como lo indica la figura 59, en la cual se evidencia que para un 20 % de la apertura del elemento de control, se tiene casi en su totalidad el valor máximo de coeficiente flujo. Con respecto a la vía 1 del prototipo 1, donde esta obtiene la totalidad de su flujo en aproximadamente un 40 % de la carrera del elemento.

Figura 59. Característica de caudal inherente.



Ademas de lo indicado por la figura 59, se procede a determinar el valor del caudal limite , y el delta de presión limite para la vía 1 del prototipo 2, de igual forma que en la válvula 1 estos valores son validos cuando se cumple con la desigualdad:

$$\Delta P > (P_1 - P_2) \quad (5)$$

Donde P_1 y P_2 corresponden a la presión de entreda y salida respectivamente, en el punto de mayor flujo. Ademas, el caudal limite y el ΔP_l son:

$$\Delta P_{max_l} = Fl^2 * (P_1 - F_f \cdot Pv) \quad (6)$$

Donde F_f es igual a:

$$F_f = 0,96 - 0,28 \cdot \left(\frac{P_v}{P_c}\right)^{0,5} \quad (7)$$

Y P_v y P_c son:

$$P_{v@20^\circ C} = 0,34 \text{ [Psia]}$$

$$P_c = 3203,88 \text{ [Psi]}$$

Tomando como referencia, que el conducto es considerado como un conducto de alta recuperacion, y que la presión de descarga del fluido es mucho mayor que la presión de vapor se tiene que el factor de recuperación, $F_l = 1$.

Para el caudal limite se tiene que:

$$Q_{max_l} = N_1 \cdot F_l \cdot C_v \cdot \left(\frac{P_1 - F_f \cdot P_v}{Gf}\right)^{0,5} \quad (8)$$

Donde Gf es la relación entre el peso especifico del fluido y el peso especifico del agua

$$Gf = \frac{\gamma_f}{\gamma_{H2O}} \quad (9)$$


Por lo tanto $Gf = 1$

Y C_v corresponde al valor maximo del coeficiente de flujo en $[Gpm / Psi]$, de tal forma que:

$$C_v = 6,09 [Gpm / Psi]$$

De igual forma que en el prototipo 1, se referencia el coeficiente de corrección de unidades el cual adquiere su valor de acuerdo al sistema de unidades utilizado, por lo tanto y se muestra en la tabla 11, se tiene que:

Tabla 11. Factor de corrección de unidades

N1	0,087	$\frac{m^3}{h}$	<i>kPa</i>	
	0,87	$\frac{m^3}{h}$	<i>bar</i>	
	1	<i>Gpm</i>	<i>Psia</i>	

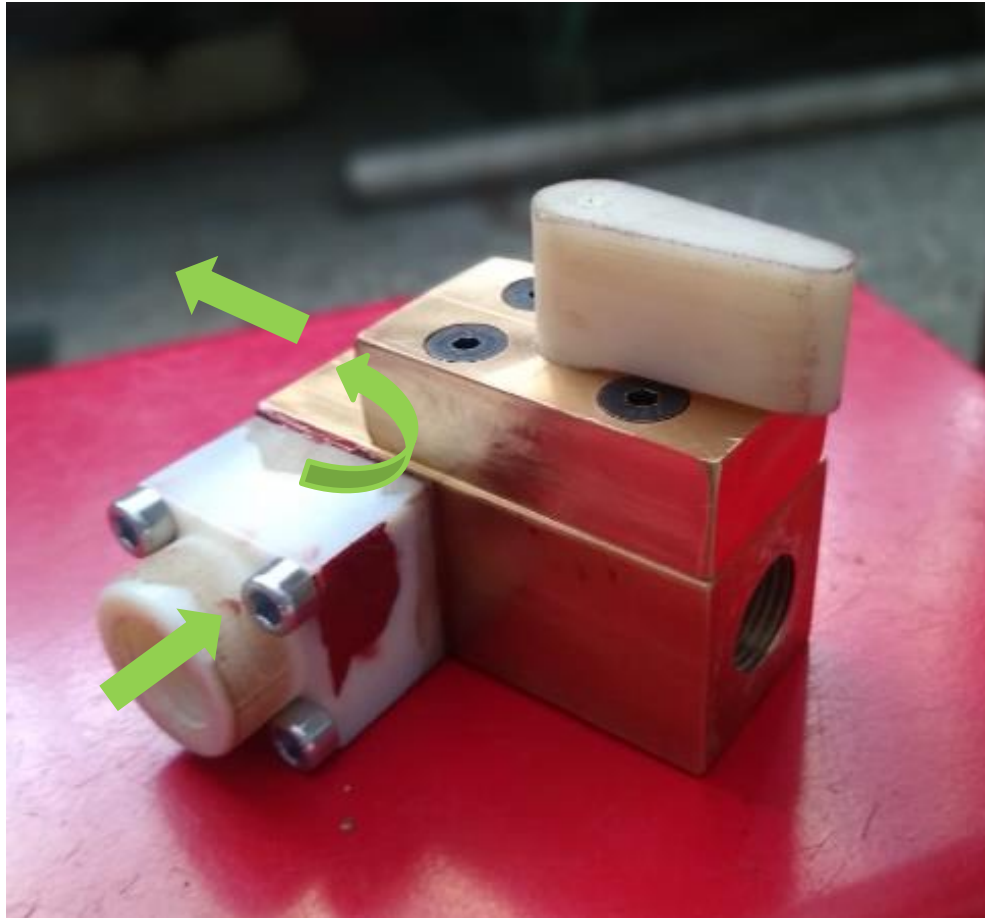
Finalmente, se determinan los valores de caudal límite y el ΔP_l límite los cuales se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Caudal límite y ΔP_l de vía 1 prototipo 1

Caudal máximo de la vía 1	<i>Gpm</i>	27,38
ΔP máximo	<i>Psia</i>	19,87
$(P_1 - P_2)$	<i>Psia</i>	4,7

- **Vía 2 del prototipo 2**

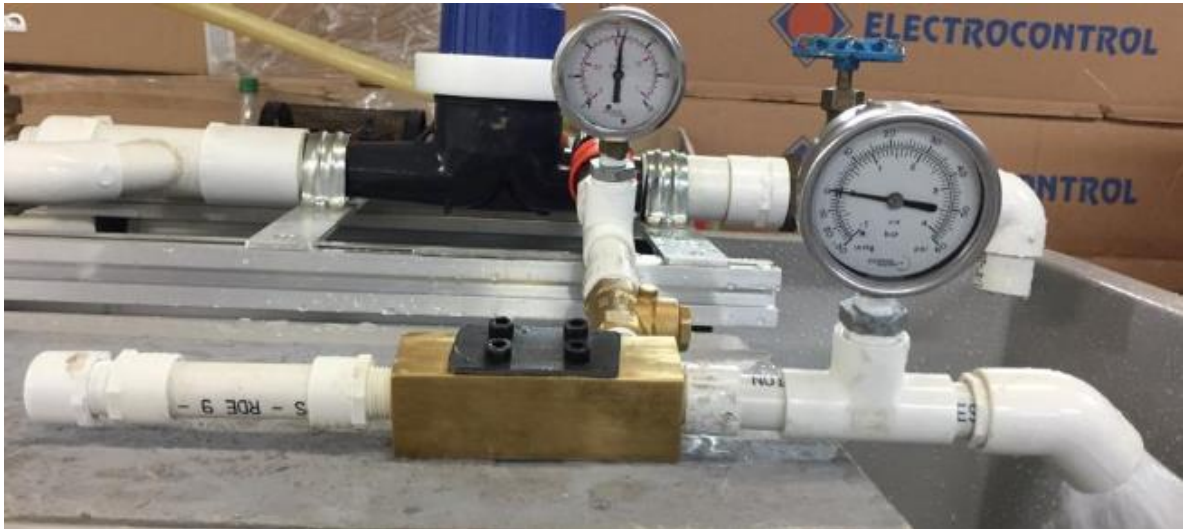
Figura 60. Vía 2 del prototipo 2



Esta vía igualmente que la vía 2 del prototipo 1 es la encargada de llevar el agua lluvia a la tubería principal como lo indica la figura 60.

Las pruebas realizadas como lo indica la figura 61, arrojan los resultados mostrados en la tabla

Figura 61. Prueba en banco de la vía 2



En la tabla 13 se evidencia que para el mismo caudal que en la vía 2 del prototipo 1 se tienen valores inferiores de presión y un incremento en el coeficiente de flujo de aproximadamente el 57 %.

Tabla 13. Datos de obtenidos.

Q [Lpm]	Q [Gpm]	Pint [psia]	Pout [psia]	$\sqrt{\Delta P}$	$C_v \left[\frac{Gpm}{\sqrt{Psi}} \right]$	$K_v \left[\frac{m^3}{h \cdot bar} \right]$
40	10,56	17,89	14,7	1,78	5,91	6,83

El campo de control para esta vía como se indica en la figura 62, tiene un valor de 7,08 indicando que el elemento controla el flujo entre el 7 % y el 100% de la apertura del cheque.

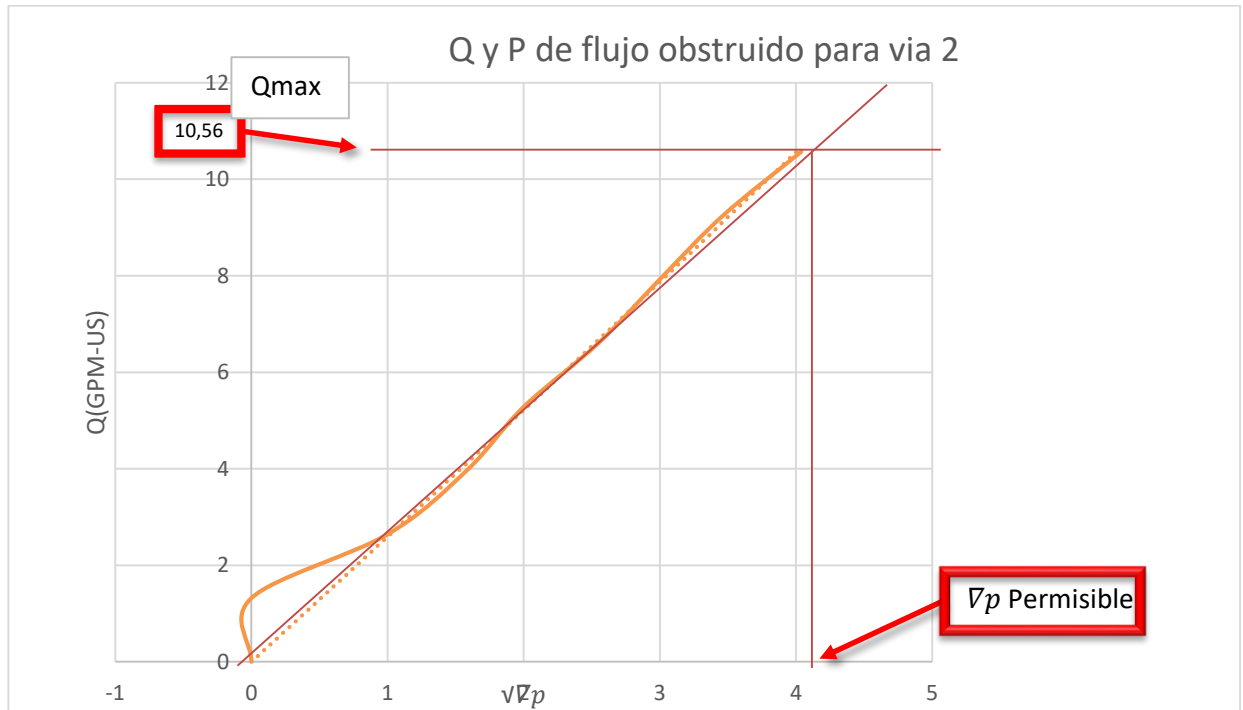
Figura 62.Campo de control vía 2

Rangeabilidad/campo de control	7,08
--------------------------------	------

Seguido a la determinación del campo de control, se determinarán los valores correspondientes al punto donde la válvula cavilaría tal como lo indica la figura 63.

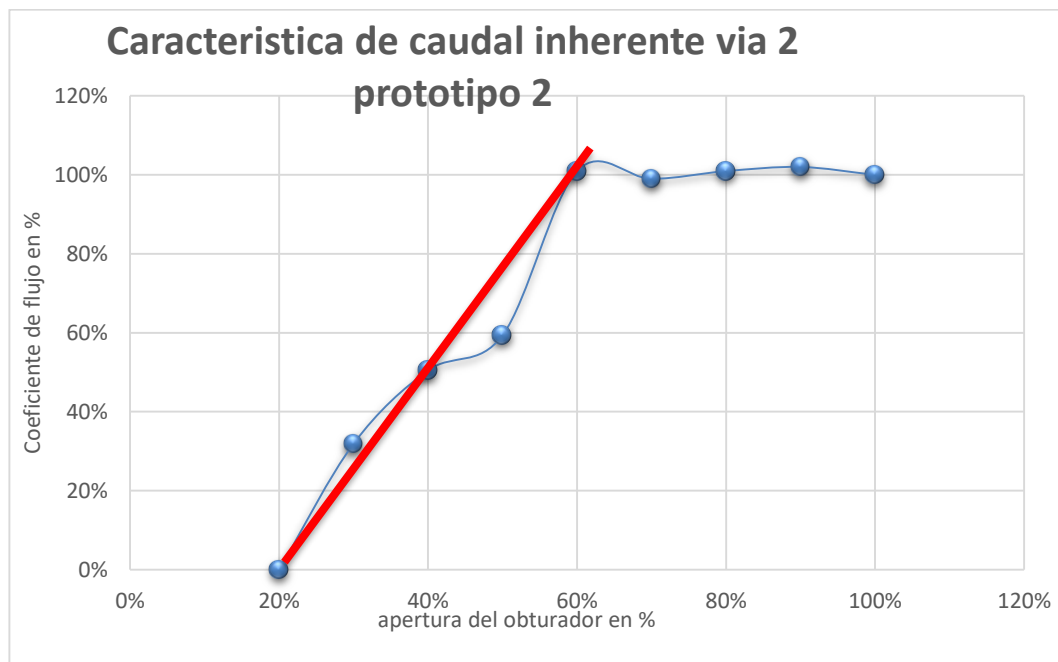
Evidentemente en la figura 63 se tiene un valor de caudal de 10,56 [Gpm], siendo inferior con respecto a la vía 2 del prototipo 1, sin embargo, el Δp admisible en la vía 2 del prototipo 2 tiene un valor superior aproximadamente 1,25 veces el del prototipo 1.

Figura 63. Flujo obstruido para vía 2 prototipo 2.



De la misma manera que en la vía 1 del prototipo 2 se elabora la curva que caracteriza la vía de acuerdo a su comportamiento como se evidencia en la figura 64.

Figura 64. Característica de caudal inherente vía 2



Donde se determina, que el comportamiento de la vía 2 tiene la misma característica que las anteriores, donde se ve un comportamiento típico de un caudal inherente tipo lineal, además, de obtener el valor máximo de su coeficiente de flujo, en un 60 % de la apertura del obturador (cheque).

Para la determinación de los caudales máximos y presiones máximas admitidas por esta vía se desarrollan los mismos pasos que en la vía 1, donde se utilizan las ecuaciones 5, 6, 7, 8, 9.

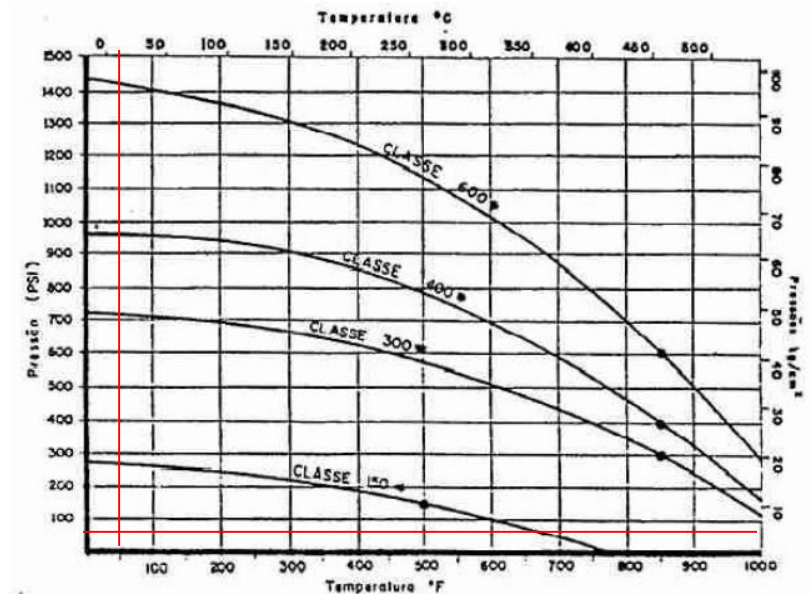
Como resultado de este proceso de diseño, en la tabla 14, se resumen las características físicas de la válvula 2.

Tabla 14. Análisis final

Caudal máximo de la vía 2	<i>Gpm</i>	25,01
ΔP máximo	<i>Psia</i>	17,57
$(P_1 - P_2)$	<i>Psia</i>	3,19

Conocidos todos los parámetros que caracterizan la válvula 2 se procede a determinar la clase dentro de la cual se clasifica la válvula, de acuerdo a la presión y temperatura de operación.

Figura 65. Determinación de la clase de la válvula.



De igual manera que en la válvula 1, se tiene que la válvula 2, cumple con los parámetros de una válvula clase 150 como lo indica la figura 65.

Con las características de la válvula y con los datos obtenidos en el laboratorio, se determinaron las pérdidas por fricción, asociadas al cambio de material donde se tenía acero al carbono y se utilizó cobre para el nuevo prototipo como se muestra en la figura 66.

Figura 66. Coeficiente de rugosidad válvula 2.

Material	Rugosidad ε	
	ft	mm
Vidrio, plástico	0 (liso)	
Concreto	0.003-0.03	0.9-9
Duela de madera	0.0016	0.5
Hule, alisado	0.000033	0.01
Tubería de cobre o latón	0.000005	0.0015
Hierro fundido	0.00085	0.26
Hierro galvanizado	0.0005	0.15
Hierro forjado	0.00015	0.046
Acero inoxidable	0.000007	0.002
Acero comercial	0.00015	0.045

La flecha roja mostrada en la figura 66, indica el coeficiente del material utilizado para la válvula 2 y el sombreado amarillo indica el coeficiente de rugosidad de la válvula 1.

Apoyándose en la ecuación 1 y 2, se determina el factor de fricción de las dos vías con el nuevo material como la indica la tabla 15.

Tabla 15. Resultado del coeficiente de fricción

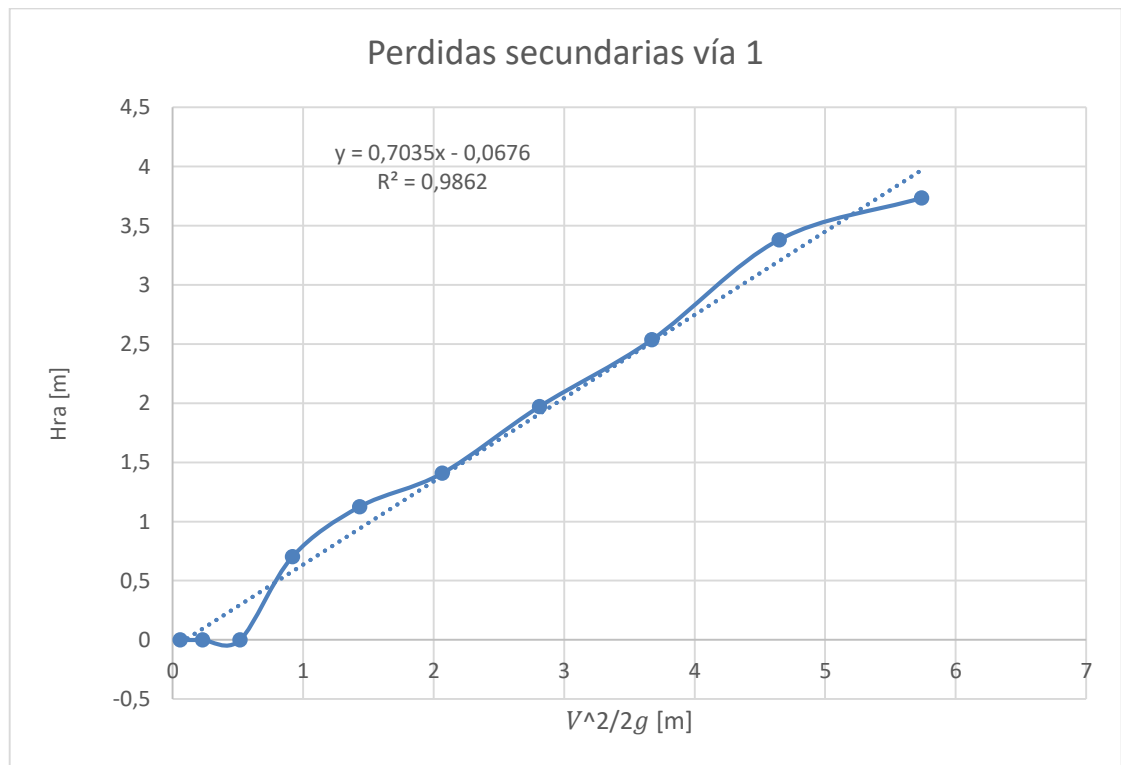
Vía 1		Vía 2	
Re diseño	1240308.9	Re diseño	870807.55
Re exp	70735.36	Re exp	47686.76
f	0.02015	f	0.0217

La divergencia entre los valores, es producto de los diferentes caudales con los cuales fue analizado el prototipo, es decir, para la simulación se utilizó un valor de caudal mayor que para la experimentación, ya que el banco de prueba en la experimentación tenía una limitante en caudal. De igual forma la fricción en la vía 1 del prototipo 2 es 2 veces menor que la fricción en la vía 1 del prototipo 1, y para la vía 2 del prototipo 2 se tiene que es inferior en 1,5 veces que la misma vía en el prototipo 1.

- **Análisis de pérdidas secundarias en el prototipo 2**

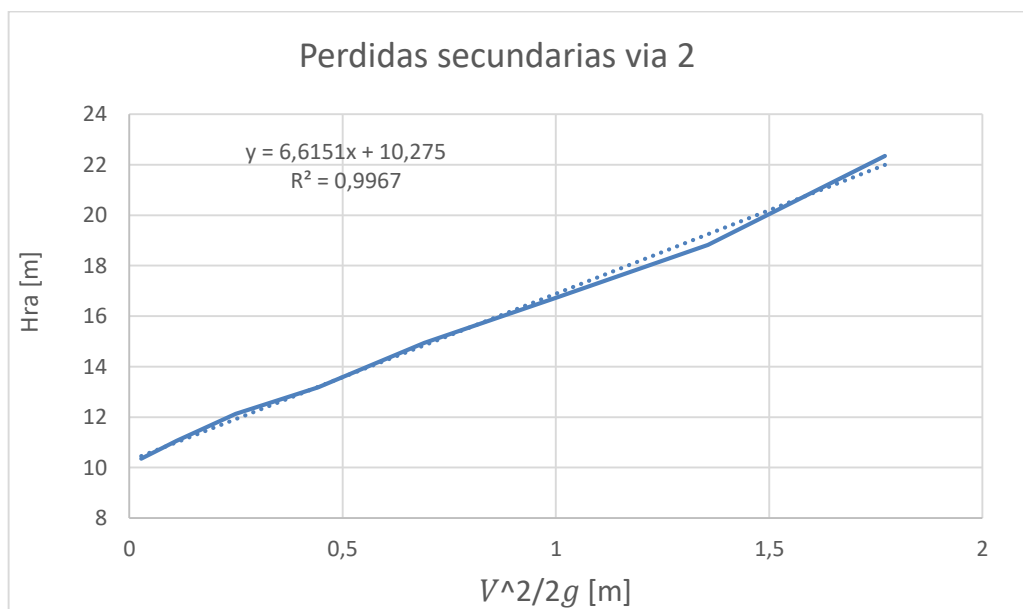
Para el análisis de las pérdidas secundarias, se utiliza la ecuación 10 y el análisis que se realizó para la válvula 1, de tal manera que los resultados obtenidos se muestran en las figuras 67 y 68 para la vía 1 y 2 respectivamente.

Figura 67. Pérdidas secundarias vía 1.



Como resultado de la experimentación, se tiene que para la vía 1, la pérdida secundaria generada es equivalente a 0,7 metros, indicados en la figura 60, Indicando esto que la disminución de los cambios de sección y el ajuste del diámetro para esta vía cumplieron con su objetivo.

Figura 68. Perdías secundarias vía 2.



Para la vía 2, se tiene que la pérdida generada por esta, es equivalente a 6 metros, ya que esta sigue teniendo un cambio de dirección y el elemento que regula el flujo. De igual forma, la vía 2 cumpliría con los criterios de aceptación ya que tiene una reducción de 1,5 m con respecto a la misma vía en la válvula 1.

Culminado el proceso de diseño, fabricación y caracterización de la válvula se procede a crear los planos del prototipo 2 ANEXO B.

3. PRESUPUESTO PROYECTO

Para el desarrollo del proyecto, se llevaron a cabo los pasos planteados en el numeral 0, dentro de los cuales, los más destacados eran la caracterización del prototipo 1 y el rediseño y caracterización del prototipo 2. Por tal razón se elabora un presupuesto basado en las horas hombre asociadas al proyecto, además de los materiales utilizados como se muestra en la tabla 16

Tabla 16. Presupuesto proyecto.

Material	Cantidad	Costo
Latón 3" X 50 cm	1	\$ 75.000
Prolon 2.5" X 30 cm	1	\$ 30.000
Tornillo 6 mm X 25	8	\$ 4.000
O´ring	1	\$ 2.000
TOTAL MATERIALES		\$ 111.000
Mano de obra	Tiempo [H]	Costo
Manufactura Prototipo 2	24	\$ 150.000
Mecanizado CNC	0,5	\$ 30.000
TOTAL MANO DE OBRA		\$ 180.000
TOTAL		\$ 291.000

La tabla 16, indica que el proyecto tuvo un costo total de 291.000 COP, donde se cumple con el último de los criterios de aceptación ya que este valor es inferior a los 300.000 COP.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se caracterizó y mejoró el diseño de una válvula de diafragma de 3 vías, apoyándose en software de CAD y pruebas de laboratorio.
- Se construyó el nuevo prototipo de válvula y realizar las respectivas pruebas comparando el desempeño entre ambas.
- Se plantearon alternativas de fabricación del nuevo prototipo y materiales adecuados para este, teniendo en cuenta costos y el beneficio para la salud y el medio ambiente.
- Se rediseñó, caracterizó y fabricó un prototipo de válvula de diafragma de 3 vías, para el aprovechamiento de aguas lluvias domiciliarias.
- El prototipo de válvula 1 cumplía con las funciones para las cuales estaba diseñado, sin embargo, este presentaba fallas constructivas como la hermeticidad de los elementos. Además, de que cumplía con sus funciones, era un prototipo energéticamente deficiente.
- En su caracterización fue notable, que, a raíz de su diseño, la vida útil de este prototipo sería baja ya que el punto de operación para que se generara cavitación se encontraba muy cerca de los parámetros de operación requeridos.
- El prototipo de válvula 2, siendo un diseño con especificaciones que garantizarían un mayor flujo, y una menor pérdida energética, podría ser

mejorado, con un nuevo sistema de sellado, en el cual el diámetro de la válvula fuera constante.

- En la caracterización del prototipo 2 se evidencia un incremento importante en las características físicas y operativas del elemento, por tal razón se afirma que el diseño conceptual del prototipo 2 cumple con los parámetros de operación y los criterios de aceptación.

4.2 RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se generan al desarrollar este proyecto, están basadas en su totalidad en alternativas de manufactura para la disminución de los costos de producción de la válvula, por tal razón entre las recomendaciones para la construcción de la válvula se tiene:

- Fundición del prototipo y acabados por medio de mecanizado.
- Mecanizado total en CNC
- Impresión 3D en impresora Objet24
- Mecanizado del prototipo en teflón, prolong.

5. BIBLIOGRAFIA

- C, E. F. (octubre de 2014). Obtenido de <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130333/Fernandez%20Cespedes%20Erick.pdf>
- Creus Solé, A. (2011). Instrumentación industrial. En *Instrumentación industrial*. Barcelona: Marcombo.
- J. Carvallo, R. Vargas . (2020). *Ecured*. Obtenido de Válvula solenoide: https://www.ecured.cu/V%C3%A1lvula_solenoide
- J.Henao, Y. Castaño. (2016). *Gestión ambiental universitaria a partir del aprovechamiento de agua pluvial. Caso de estudio, Universidad Tecnológica de Pereira*. Pereira.
- logismarket, M. (2020). *Mecalux logismarket*. Obtenido de <https://www.logismarket.es/>
- M. Golato. (2004). Obtenido de <https://catedras.facet.unt.edu.ar/>
- Vanegas, E. E.-A.-D. (20 de mayo de 2010). Obtenido de <http://webquery.ujmd.edu.sv/siab/bvirtual/BIBLIOTECA%20VIRTUAL/TESIS/01/MER/ADTESCD0001279.pdf>
- Y. Cengel, J. Cimbala. (2006). *Mecánica de fluidos, fundamentos y aplicaciones*. (1ra ed.). Mc Graw Hill.

6. ANEXOS

ANEXO A

